

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Порохня Андрей Алексеевич
Должность: и.о. директора Инженерного института
Дата подписания: 01.04.2026 18:25:49
Уникальный программный ключ:
d94018a474b95fbf76811fe9168b8749995b3bfb

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Колледж СКФУ в г. Ставрополе

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторным работам

по дисциплине «Строительные материалы и изделия»

для студентов направления подготовки

08.02.14 Эксплуатация и обслуживание многоквартирного дома

Ставрополь

Введение

Знание основных свойств строительных материалов, умение правильно проводить подбор составов композиционных строительных материалов являются одними из основных структурных составляющих, создающими необходимую базу для изучения специальных дисциплин. Поэтому роль и значение строительных материалов в методических указаниях по выполнению контрольной работы рассматриваются в неразрывной связи с их работой и поведением в изделиях и конструкциях зданий и сооружений.

Учет взаимосвязи «материал – конструкция» представляет основу для оптимизации структуры и свойств материала, раскрывает его дополнительные резервы, повышает надежность и экономичность изделий и конструкций.

Задача данных методических указаний – научить студентов определять основные физические и механические свойства строительных материалов, пользуясь знаниями, полученными в процессе изучения дисциплины.

Раздел 1. Строительные материалы и изделия

Тема 1.1 Классификация и требования к строительным материалами изделиям

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «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 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 ближайšie 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 $[\text{г}/\text{см}^3, \text{кг}/\text{м}^3]$ – 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 ρ_m $[\text{г}/\text{см}^3, \text{кг}/\text{м}^3]$ — 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 ρ $[\text{г}/\text{см}^3, \text{кг}/\text{м}^3]$ — 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 ρ_n $[\text{г}/\text{см}^3, \text{кг}/\text{м}^3]$ — 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/см³ или 1000 кг/м³, 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 ³ | | 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_о — 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 P_3 характеризует объем замкнутых, не сообщающихся между собой и с окружающей средой пор:

$$P_3 = P - P_o \quad (7)$$

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 $K_{пл}$** [%], характеризующий степень заполнения объема материала твердым веществом:

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

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 $S_{уд}$ 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 $S_{уд}$, ее размерность (см²/г) или (см²/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 [см³];

$\rho_{\text{воды}}$ — плотность воды, равная 1 г/см³.

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/см²), 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 м² 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 $R_{\text{п}}$ [м²·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 м² 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 ± 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.

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];

Δt — 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** λ [Вт/(м·°С)] — количеством теплоты, которое способен передать материал через 1 м² поверхности при толщине 1 м и разности температур на поверхностях 1 °С в течение 1 с:

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

где Q — количество теплоты [Дж];

δ — толщина материала [м];

A — площадь поверхности [м²];

Δt — разность температур [°С];

τ — 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·°С).

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·°С).

Теплопроводность некоторых строительных материалов представлена в табл. 2.

Таблица 2 – Теплопроводность строительных материалов

| Наименование материала | Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С) |
|--------------------------------|---|
| 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 λ 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 ⁻⁶ , °С ⁻¹ |
|------------|--|
| 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

| Избыточная температура, °С |
|----------------------------|
|----------------------------|

| Время, мин | СТ СЭВ 1000-78 | ASTM-E 119 (США) | BS 476 Part (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 _L , % | Степень повреждения по массе S _m , % | Продолжительность самостоятельного горения t _{c.g.} , 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/см², Н/мм²] — 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 [м², см²].

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

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

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), 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 $R_{и}$) 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 [$г/см^2$] — 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 [$см^2$].

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 σ – напряжение [МПа];

ε – 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 физико-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 $V_{ем}$, 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, см³ (м³).

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 [см³] 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 ρ_m [г/см³] рассчитывают по формуле (1), а затем переводят ее в кг/м³, 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/см³]:

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

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

Среднюю плотность ρ_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, размерность | Форма образца | | | | |
|--|---------------|-----------|---------------|--------------|--------|
| | Правильная | | | Неправильная | |
| | Древесина | Пенопласт | Кирпич керам. | Сталь | Гранит |
| Масса образца m , г | 49,3 | 15,6 | 3300 | 94,5 | 63,5 |
| Размеры, см: длина ширина высота | 4,5 | 14,6 | 24,8 | - | - |
| | 4,5 | 9,2 | 12 | - | - |
| | 4,7 | 5,1 | 5,7 | - | - |
| Объем V_e , см^3 | 95,18 | 658,03 | 1696,32 | - | - |

| | | | | | |
|--|-------|------|------|-------|------|
| Масса образца в воде m_1 , г | - | - | - | 82,16 | 40,1 |
| Масса вытесненной воды $m_e = m - m_1$, г | - | - | - | 12,34 | 23,4 |
| Объем вытесненной воды (образца) $V_e = m_e / \rho_{\text{воды}}$, см ³ | - | - | - | 12,34 | 23,4 |
| Средняя плотность ρ_m , г/см ³ | 0,517 | 0,02 | 1,95 | 7,658 | 2,71 |
| То же, 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 см³.

Масса остатка порошка: определяется взвешиванием.

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

Истинная плотность ρ : 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/м³ (для полимеров) до 7980 кг/м³ (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 объеммер (рисунок 2) наливают воду до нижней риски, нанесенной на горле колбы. Горло объеммера подсушивают фильтровальной бумагой. Затем навеску порошка кирпича с помощью стеклянной палочки осторожно пересыпают в объеммер 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 объеммера (20 см^3). Это значит, что в объеммер всыпано 20 см^3 порошка испытуемого материала. Остаток порошка взвешивают с точностью до 0,01 г. Масса порошка материала, всыпанного в объеммер, равна разности между первоначальной массой и массой остатка. Плотность вычисляют с точностью до 0,01 г/см³ как среднее арифметическое двух определений, расхождение между которыми не должно превышать 0,02 г/см³.

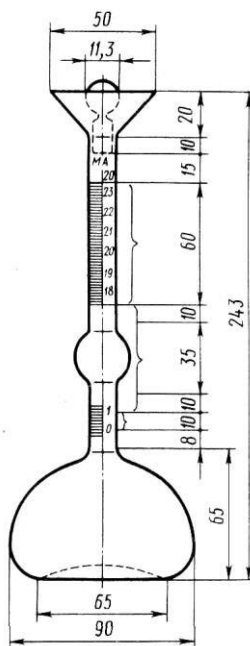


Рисунок 2 – Колба-объеммер (колба Ле Шателье)

Массу порошка, засыпанного в объеммер [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 см³.

Масса остатка порошка m_2 : 55,3 г.

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

Истинная плотность: $\rho = m/V_a = 53,5/20 = 2,68$ г/см³ или 2680 кг/м³.

Задание 3. Определение насыпной плотности

Сыпучие рыхлые материалы (*щебень, гравий, песок, цемент и др.*) характеризуются насыпной плотностью ρ_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).

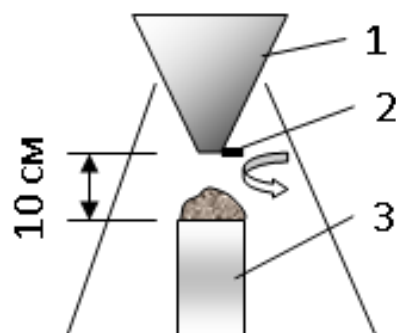


Рисунок – 3 Определение насыпной плотности:

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, см³.

Результаты определения насыпной плотности заносят в таблицу 3 рабочей тетради.

Таблица 3 – Результаты определения насыпной плотности

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

Задание 4. Расчет пористости и коэффициента плотности

Пористость - это степень заполнения материала порами.

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

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 (P) включает в себя открытую (P_o) и закрытую пористости (P_z).

Открытыми считаются поры, которые при помещении материала в воду заполняются ею, закрытыми – которые не заполняются водой.

Полную пористость рассчитывают по формуле:

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

где ρ - истинная плотность материала, г/см³;
 ρ_{cp} - средняя плотность материала, г/см³.

Открытую пористость можно приближенно определить по величине водопоглощения по объему:

$$P_o \approx V_v \quad (9)$$

Закрытую (замкнутую) пористость в процентах определяют по формуле:

$$P_z = P - P_o \quad (10)$$

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** P [%] и **коэффициент плотности** $K_{пл}$ [%] керамического кирпича, древесины, гранита и пенопласта по формулам (7) и (8).

При этом учитывают, что $P + K_{пл} = 1$ (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:

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

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 ± 2 °С до $+18 \pm 2$ °С?
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?

Рекомендуемая литература

1. Рыбьев, И.А. Строительное материаловедение [Текст]: учебное пособие для бакалавров/ И.А.Рыбьев. – 4-е изд. – М.: Издательство Юрайт, 2012. – 701 с. – Серия: Бакалавр – ISBN 978-5-9916-9
2. Строительные материалы [Текст]: учебник для студ. учреждений высш. Проф. образования / Л.А. Алимов, В.В. Воронин. –М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 320 с. – ISBN: 978-5-7695-8336-0
3. Микульский, В. Г. Строительные материалы (Материаловедение. Строительные материалы) [Текст]: учебник/ В. Г. Микульский, Г. И. Горчаков, В. В. Козлов и др.; под ред. В. Г. Микульского и В. В. Козлова. – М. : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2004. – 536 с. – ISBN 5-93093-041-4
4. Попов, К. Н. Строительные материалы и изделия [Текст]: учебник / К.Н. Попов, М.Б. Каддо. – М.: Высшая школа, 2001. – 367 с. – ISBN 5-06-003799-1
5. Фетисов, Г. П. Материаловедение и технология металлов [Текст]: учебник для вузов / Г. П. Фетисов, М. Г. Карпман, В. М. Матюнин и др.; под ред. Г. П. Фетисов – М. : Высшая школа, 2000. – 638 с. – ISBN: 5-06-004418-1
5. Невского, В.А. Строительное материаловедение [Текст]: учебное пособие / под общ. ред. В.А.Невского. – Изд. 3-е, доп. и перераб. – Рстов н/Д: Феникс, 2010. – 588 с. – ISBN: 978-5-222-17506-4
6. Ковалев Я.Н. Строительные материалы [Текст]: Лабораторный практикум / Я.Н. Ковалев, Г.С. Галузо, А.Э. Змачинский, Т.А. Чистова; под

ред. проф. Я.Н. Ковалев – М. : Издательский центр « НИЦ Инфра-М, Новое знание», 2015. – 633 с. – ISBN: 978-5-16-006406-2

7. Барабанщиков Ю.Г. Строительные материалы и изделия [Текст]: учебник для учреждений сред. Проф. образования/ Ю.Г. Барабанщиков.– 4-е изд., стер.–М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 416 с. – ISBN: 978-5-7695-9859-3

Раздел 1. Строительные материалы и изделия

Тема 1.1 Классификация и требования к строительным материалам и изделиям

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «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 [см³];

$\rho_{\text{воды}}$ — плотность воды, равная 1 г/см³.

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 ± 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.

Прочность [МПа, кгс/см², Н/мм²] — 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 [м², см²].

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 50x50x50.

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 Δm :

$$\Delta m = m_i - m_{\text{сух}},$$

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 Δm .

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 Δm .

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. $1 \text{ атм} = 760 \text{ мм. рт. Ст.} = 101\,325 \text{ Па} = 101\,325 \text{ Н/м}^2 = 103\,332,37 \text{ кгс/м}^2$
Атмосфера — внесистемная единица измерения давления, приблизительно равная атмосферному давлению на поверхности Земли на уровне Мирового океана.

Схема испытания представлена на рисунке 1.

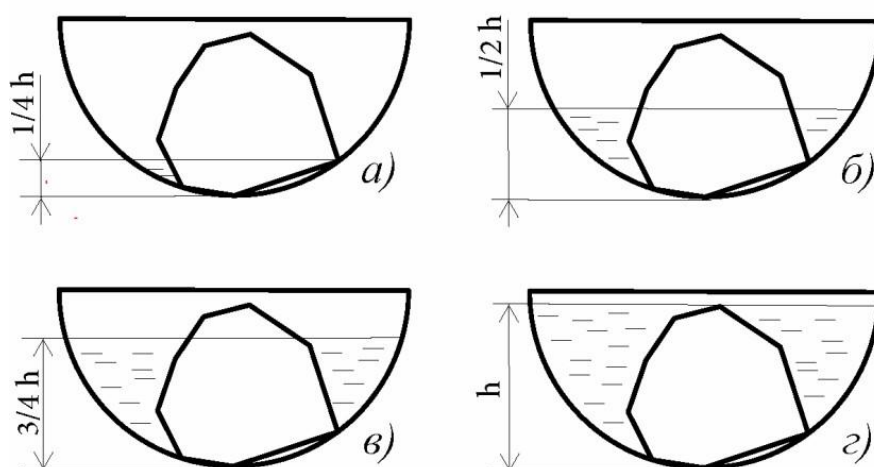


Рисунок 1 – Схема испытания образца на водопоглощение:

a — 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; *з* — 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 |

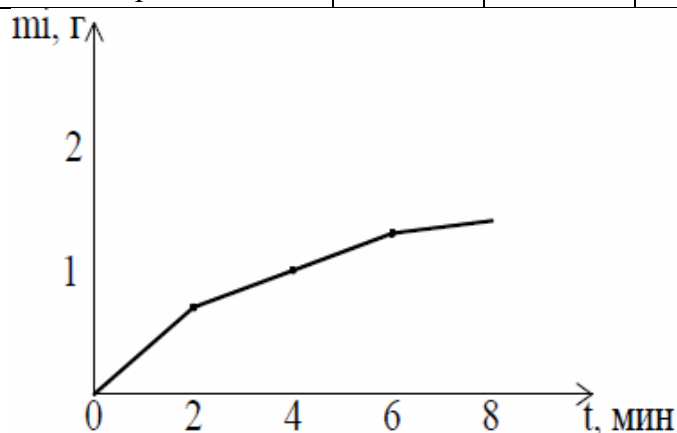


Рисунок 3 – График зависимости приращения массы от времени насыщения образца водой

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/см², Н/мм²] — 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 свыше 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).

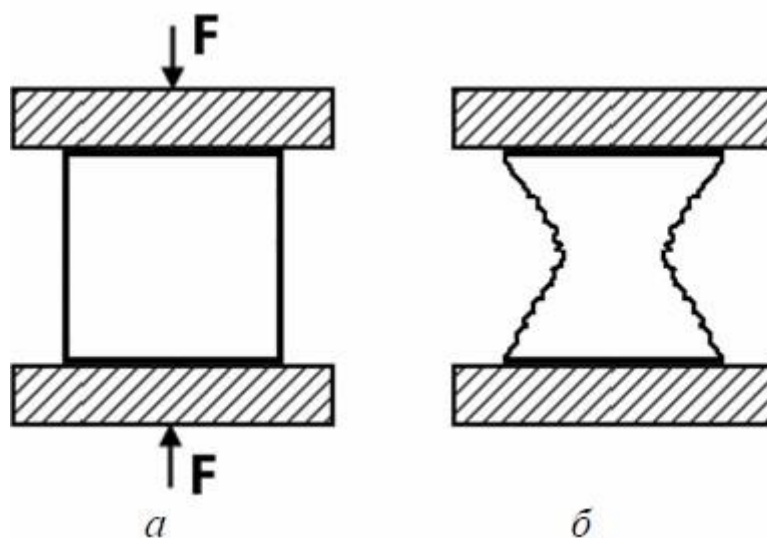


Рисунок 4 – Внешний вид образца: *a* — до испытания; *б* — после испытания

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 ширина высота | 5 | 5 |
| | 5 | 5 |
| | 5 | 5 |
| Площадь приложения нагрузки | 25 | 25 |
| Разрушающая нагрузка F , кН | 39 | 11 |
| Предел прочности при сжатии R_c , кН/см ² * | 1,56 | 0,44 |
| То же, МПа | 15,6 | 4,4 |
| Коэффициент размягчения, K_p | 0,28 | |

* 1 кН/см² = 10 МПа = 100 кгс/см².

Формулы:

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

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 $R_{и}$) 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 | Rс, МПа | Rp, МПа | Rуд, МПа | |
|---|------|---------|---------|------------|----------------|
| | | | | при сжатии | при растяжении |
| Сталь марки Ст5 | 7,85 | — | 490 | — | 62,4 |
| Стальная высокопрочная 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 ± 2 °С до $+18 \pm 2$ °С?

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?

Рекомендуемая литература

1. Рыбьев, И.А. Строительное материаловедение [Текст]: учебное пособие для бакалавров/ И.А.Рыбьев. – 4-е изд. – М.: Издательство Юрайт, 2012. – 701 с. – Серия: Бакалавр – ISBN 978-5-9916-9

2. Строительные материалы [Текст]: учебник для студ. учреждений высш. Проф. образования / Л.А. Алимов, В.В. Воронин. –М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 320 с. – ISBN: 978-5-7695-8336-0

3. Микульский, В. Г. Строительные материалы (Материаловедение. Строительные материалы) [Текст]: учебник/ В. Г. Микульский, Г. И. Горчаков, В. В. Козлов и др.; под ред. В. Г. Микульского и В. В. Козлова. – М. : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2004. – 536 с. – ISBN 5-93093-041-4

4. Попов, К. Н. Строительные материалы и изделия [Текст]: учебник / К.Н. Попов, М.Б. Каддо. – М.: Высшая школа, 2001. – 367 с. – ISBN 5-06-003799-1

5. Фетисов, Г. П. материаловедение и технология металлов [Текст]: учебник для вузов / Г. П. Фетисов, М. Г. Карпман, В. М. Матюнин и др.; под ред. Г. П. Фетисов – М. : Высшая школа, 2000. – 638 с. – ISBN: 5-06-004418-1

6. Невского, В.А. Строительное материаловедение [Текст]: учебное пособие / под общ. ред. В.А.Невского. – Изд. 3-е, доп. и перераб. – Рстов н/Д: Феникс, 2010. – 588 с. – ISBN: 978-5-222-17506-4

7. Ковалев Я.Н. Строительные материалы [Текст]: Лабораторный практикум / Я.Н. Ковалев, Г.С. Галузо, А.Э. Змачинский, Т.А. Чистова; под ред. проф. Я.Н. Ковалев – М. : Издательский центр « НИЦ Инфра-М, Новое знание», 2015. – 633 с. – ISBN: 978-5-16-006406-2

8. Барабанщиков Ю.Г. Строительные материалы и изделия [Текст]: учебник для учреждений сред. Проф. образования/ Ю.Г. Барабанщиков.– 4-е изд.,стер.–М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 416 с. – ISBN: 978-5-7695-9859-3

Раздел 1. Строительные материалы и изделия

Тема 1.2 Природные, керамические и стеклянные материалы и изделия.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «Керамические материалы. Испытание по ГОСТу керамического рядового кирпича»

Цель работы: ознакомиться со свойствами керамического кирпича и сравнить их со свойствами других стеновых керамических изделий, определить соответствие керамического кирпича требованиям ГОСТ ТУ по внешнему виду и по эксплуатационным показателям керамического кирпича.

Теоретическая часть

В современном капитальном строительстве наибольшее распространение получили каменные стеновые материалы, которые обычно подразделяют на *мелкоштучные*, укладываемые вручную, и *крупноразмерные*, монтируемые с помощью кранов.

К *мелкоштучным* каменным стеновым материалам относят:

- 1) кирпич керамический и силикатный;
- 2) керамические многопустотные камни;
- 3) бетонные и шлакобетонные камни;
- 4) пилёные камни из лёгких горных пород (известняк, туф и т.п.).

Крупноразмерные стеновые материалы – блоки из обычного, лёгкого или силикатного бетона и стеновые панели – однослойные (из лёгкого бетона) и многослойные (из обычного бетона с теплоизоляционным слоем).

1. Общие сведения о строительной керамике

Керамическими называют искусственные каменные материалы, получаемые из минерального сырья (глины) с добавками или без них путем формования, сушки и обжига при высоких температурах. Добавки вводятся для корректировки изначальных природных характеристик глинистого сырья.

К группе *стеновых керамических изделий* относятся: *кирпич керамический обыкновенный, эффективные керамические материалы* (кирпич пустотелый, пористо-пустотелый, легкий, пустотелые камни, блоки и плиты), а также *крупноразмерные блоки и панели из кирпича и керамических камней, общие технические требования* к которым *содержатся в ГОСТ 530*.

Основные характеристики керамических изделий: *средняя плотность ρ , прочность R , теплопроводность λ* зависят от степени обжига и структуры. При обжиге до температуры 950...1000 °С получают изделия с пористостью от 8 до 38 % (стеновые, кровельные, облицовочные, теплоизоляционные). Более высокие температуры обжига позволяют получать материалы с большей плотностью, и низкой пористостью, а, следовательно, они будут более прочные и водонепроницаемые (плитки для полов, дорожный (клинкерный) кирпич, канализационные трубы и др.).

Керамические изделия используют практически во всех конструктивных элементах здания, а также для архитектурной отделки фасадов. Их применяют для кладки наружных и внутренних стен и других элементов зданий и для изготовления стеновых панелей (двух- и трехслойных) и блоков. При этом в наибольших объемах применяют стеновые изделия - *керамические кирпич и камень*.

Основным сырьем для производства строительной керамики служат рыхлоземлистые осадочные горные породы - глины и каолины.

Глины разнообразны по минеральному составу и состоят из минералов - водных алюмосиликатов: каолинита $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ (это главный минерал), монтмориллонита $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot nH_2O$, галлуазита $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 4H_2O$ и других, а также минеральных и органических примесей.

Каолины состоят преимущественно из минерала белого цвета - каолинита с минимальным содержанием примесей. Они тугоплавки и после обжига сохраняют белый цвет.

Наряду с глинами и каолинами в технологии керамических изделий используют другое минеральное сырье, например, трепелы, диатомиты, а также чистые оксиды (оксидная или техническая керамика) *и местные промышленные отходы.*

Примеси (кварц, слюда, полевые шпаты, кальцит, магнезит и др.), входящие в состав глин, уменьшают их **пластичность**. Наличие примесей известняка может явиться причиной появления так называемых **“дутиков”** и трещин в изделиях. Дело в том, что при обжиге глины $CaCO_3$, содержащийся в известняке, разлагается на оксид кальция и углекислый газ, а при последующей эксплуатации изделий оксид кальция гидратируется с увеличением объема.

Природные глины в чистом виде применяются редко, чаще - в смеси с **добавками различного назначения**. Основные виды добавок:

- **отощающие** - шамот, дегидратированная глина, шлаки, золы, кварцевый песок; вводятся для понижения пластичности и уменьшения усадки глины при сушке и обжиге;

- **пластифицирующие** - высокопластичные глины, бентониты, поверхностно-активные вещества: вводятся в тощие глины для повышения пластичности сырьевой смеси;

- **порообразующие**, которые вводятся для повышения пористости и уменьшения теплопроводности керамического черепка. По механизму порообразования добавки делятся на диссоциирующие с выделением газа - молотые мел, доломит

- **выгорающие** - древесные опилки, угольный порошок, торфяная пыль;

- **плавни** - полевые шпаты, железная руда, доломит, магнезит, тальк и др.; понижают температуру спекания глин.

Для улучшения внешнего вида, а также повышения стойкости к внешним воздействиям изделия могут покрываться декоративным слоем - **глазурью** или **ангобом**.

Глазурь - стекловидное покрытие различного цвета, прозрачное или

непрозрачное (глухое). Сырьевую смесь в виде порошка или суспензии из кварцевого песка, каолина, полевого шпата, солей щелочных и щелочноземельных металлов наносят на изделие и закрепляют обжигом.

Ангоб - тонкий слой беложгущейся или цветной глины, наносимый на поверхность еще необожженного изделия. При обжиге образуется цветное покрытие с матовой поверхностью.

Производство керамических изделий включает следующие этапы: *карьерные работы, механическую обработку глиняной массы, формование изделий, их сушку и обжиг*. **Добыча глины** осуществляется в карьерах открытым способом. Добытая глина в течение 1-2 лет в замоченном состоянии вылеживается в карьере, где периодически замораживается и оттаивает. При этом разрушаются природные агрегаты глины и высвобождаются мельчайшие частички, придающие глинам пластичность. Механическая обработка глиняной массы производится с целью дальнейшего разрушения природной структуры глин, удаления или измельчения крупных включений, измельчения и перемешивания всех компонентов до получения однородной, удобоформуемой массы.

В зависимости от вида изготавливаемой продукции и свойств сырья массу готовят *пластическим, жестким, полусухим, сухим и шликерным способами*. Способ приготовления массы определяет и способ формования, и название в целом способа производства. Стеновые керамические изделия изготавливают способом пластического формования (экструзии), реже - полусухим прессованием.

1. Способ пластического формования является наиболее простым, наименее металлоемким и поэтому наиболее распространенным. Исходные материалы смешивают с водой до получения смеси с влажностью от 18 до 22%. Формование *сырца* производится на ленточном прессе. Увлажненная и тщательно размятая глиняная масса продавливается винтовым конвейером через решетку в вакуумную камеру пресса, где из нее удаляется воздух. Далее масса винтовым валом подается в конусную головку пресса, уплотняется и продавливается через формообразующую часть пресса - мундштук. Мундштук придает глиняной ленте, выходящей из пресса, определенную высоту и ширину. При получении пустотелых изделий в мундштуке устанавливаются керны, образующие каналы в выдавливаемой ленте.

Выходящая из пресса глиняная лента нарезается автоматическим устройством на отдельные кирпичи, которые затем высушивают и обжигают при температуре 1000°C. Размер сырца несколько больше номинальных размеров изделия, так как в процессе последующей обработки глина претерпевает усадку, достигающую при данном способе производства 10-15%.

Сушка изделий с целью предотвращения растрескивания должна производиться так, чтобы скорость испарения воды с поверхности не превышала скорости ее миграции из внутренних слоев. Сушка сырца производится в туннельных и камерных сушилках до остаточного содержания

влаги не более 5-7% во избежание неравномерной усадки и растрескивания при последующем обжиге.

2. Жесткий способ формования – разновидность современного пластического способа. Заключается в формировании на мощных вакуумных прессах при давлении до 20 МПа. $W=13...18\%$.

3. Полусухой способ прессования отличается от пластического тем, что глина с влажностью 6-7% измельчается в порошок, из которого на специальных прессах поштучно формируется кирпич-сырец при давлении от 15 до 40 МПа. Такой сырец не требует сушки - его сразу после формования можно обжигать. Кирпич полусухого прессования имеет гладкие грани и значительно меньше дефектов, чем кирпич пластического формования, но он менее морозостоек. Кроме того, он получается более плотным, в связи с чем в нем делают несквозные пустоты (так называемый пятистенный кирпич). Относительно небольшой выпуск кирпича полусухого прессования объясняется сложностью прессов для формования сырца и их невысокой производительностью.

4. Сухой способ прессования – разновидность современного полусухого способа. С его помощью изготавливают дорожный кирпич, плитки для полов. $W=2...6\%$.

5. Шликерный способ прессования применяется при литье изделий сложной формы. Влажность массы W до 40 %.

Наиболее ответственным этапом производства керамических изделий является **обжиг**. В процессе обжига **формируется состав и структура керамического черепка**, определяющие строительно-технические свойства: *прочность, плотность, водостойкость, морозостойкость* и др. Дефекты, возникающие при обжиге, являются необратимыми.

От ведения процесса обжига зависит расход топлива, электроэнергии, затраты труда и другие технико-экономические показатели. Суммарные затраты на обжиг составляют 35...40% от себестоимости товарной продукции.

В процессе обжига глина претерпевает глубокие физико-химические изменения. Сначала испаряется свободная вода (до 200°C), затем выгорают органические примеси (300-400°C). При температуре 500-600°C из глинистых минералов удаляется химически связанная вода: так из каолинита образуется безводный метакаолинит $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$, который при 700-800°C разлагается на отдельные оксиды (образуется так называемый твердый раствор). С повышением температуры до 900°C и выше SiO_2 и Al_2O_3 вновь соединяются друг с другом, но в других соотношениях, образуя новые искусственные минералы: неустойчивый силлиманит $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ и кристаллический муллит $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$, интенсивное образование которого происходит в интервале температур 1000-1200°C. *Муллит* придает обожженному керамическому черепку водостойкость, прочность, термическую стойкость. С его образованием глина необратимо переходит в камневидное состояние. Вместе с образованием муллита легкоплавкие составляющие глины переходят в

расплав, который скрепляет кристаллы муллита, цементирует и упрочняет керамический черепок.

*Расплавление легкоплавких составляющих глины при обжиге сопровождается сближением частиц и, соответственно, уменьшением размеров и объема изделий. Это явление называется **огневой усадкой**. В зависимости от вида глины она составляет от 2 до 8 % и тем больше, чем выше температура обжига. Полная усадка равна сумме воздушной (возникает при сушке за счет испарения свободной воды) и огневой. Данные об усадке учитываются при формировании изделий.*

*Свойство глины уплотняться при обжиге и образовывать камнеподобный черепок называется **спекаемостью**. Интервал между температурой начала спекания и температурой, при которой появляются первые признаки пережога, называется интервалом спекания. Чем он больше, тем легче управлять процессом обжига, тем меньше опасность нежелательных деформаций изделий.*

Обжиг стеновой керамики обычно заканчивается при температуре 950-1050°C. Дальнейшее повышение температуры ведет к появлению **пережога («железняк»)**, характеризующегося повышенной плотностью изделий, темным фиолетово-бурым цветом, иногда оплавленной поверхностью и искривлением изделий. Соответственно **недожог** характеризуется незавершенностью процессов обжига, пониженной прочностью, водо- и морозостойкостью, и алым оттенком изделий. Таким образом, после обжига изделия могут отличаться как по степени обжига, так и по наличию внешних дефектов (*отбитости, трещины, искривления и проч.*).

Стеновые изделия применяют для кладки и облицовки несущих и самонесущих стен и других элементов зданий и сооружений, в частности, **полнотелый кирпич** используют для кладки фундаментов, наружной части дымовых труб, промышленных и бытовых печей. Помимо стеновых материалов, описанных в данных методических указаниях, широко применяются **керамические облицовочные изделия** (плитки для наружной и внутренней облицовки и фасонные детали к ним), кровельные материалы (черепица), **заполнители для бетона** (керамзит, аглопорит, щебень из кирпичного боя), **кислотоупорные изделия** (кирпич, плитка и проч.), **огнеупоры, теплоизоляционные материалы, материалы для полов, для перекрытий, санитарно-технические изделия, дренажные и канализационные трубы и др.**

2. Керамические кирпич и камень

Кирпич и камни, включая крупноформатные (ГОСТ 530-2012), представляют собой мелкоштучные керамические изделия, предназначенные для кладки и облицовки каменных и армокаменных конструкций - несущих и самонесущих стен, фундаментов, вентиляционных каналов и т.п.

Кирпич керамический – керамическое штучное изделие,

предназначенное для устройства кладок (рис. 1) на строительных растворах и сухих строительных (клеевых, кладочных) смесях.

К кирпичу предъявляются требования:

1. По показателям внешнего вида;
2. По прочности на изгиб $R_{изг}$;
3. По прочности на сжатие $R_{сж}$;
4. Теплопроводности λ ;
5. Морозостойкости F (для кладки наружных стен).

Кирпич нормального формата 1НФ (одинарный) имеет форму параллелепипеда размером 250x120x65 мм с прямыми ребрами, четкими гранями и ровными лицевыми поверхностями. Искривление ребер и граней кирпича не должно превышать 3 мм.

Модульный кирпич имеет размеры 250x120x88 мм и выпускается с круглыми или щелевыми пустотами, чтобы масса одного кирпича была не более 4 кг. **Кирпич «евро»** имеет размеры 250x85x65 мм.

Стеновые материалы измеряют в штуках «условного» кирпича. Они приводятся в перерасчете на условный кирпич размерами 250x120x65 мм (объем изделия 1950 см³). Коэффициент перерасчета K керамических и силикатных изделий в условный кирпич вычисляется по формуле:

$$K = V/1950;$$

где v – объем изделия брутто, см³; 1950 – объем условного стандартного кирпича, см³ (или 1,95 м³).

Почему тысяча «условная»? В свое время стандартный типоразмер кирпича был 250x120x65 мм. После сложения 1 тыс. кирпичей данного типоразмера получался объем 1,95 м³. Со временем, чтобы снизить трудозатраты каменщиков типоразмер кирпича был изменен: толщина его увеличилась до 88 мм. Теперь, чтобы получить тот же объем кладки (1,95 м³), такого модульного кирпича требовалось уложить не 1 тыс., а всего 740 штук, при том же объеме, но при меньших трудозатратах.

Различают следующие виды кирпича:

1. Полнотелый – кирпич без пустот или с технологическими пустотами, объем которых составляет не более 13% от объема кирпича. Полнотелыми изготавливают только одинарные и утолщенные кирпичи;

2. Пустотелый – кирпич, имеющий пустоты различной формы и размеров, объем пустот, у которого более 13 % (обычно 25-45%). Форма и размер пустот могут быть различными. Обычно для изделий с вертикальными пустотами нормируется толщина наружных стенок не более 12 мм, ширина щелевых пустот не более 16 мм, диаметр круглых не более 20 мм;

3. Клинкерный – кирпич, имеющий высокую прочность и низкое водопоглощение, обеспечивающее эксплуатационные характеристики кладки в сильно агрессивной среде и выполняющие функции декоративного материала;

4. Фасонный – изделие, имеющее форму, отличающуюся от формы прямоугольного параллелепипеда;

5. Доборный элемент – изделие специальной формы, предназначенное для завершения кладки;

6. Лицевой кирпич – используется при кладке стен одновременно как конструкционный, так и отделочный материал. Обеспечивает эксплуатационные характеристики кладки и выполняющий функцию декоративного материала. Имеет улучшенные в эстетическом отношении грани, имеет те же размеры и физико-механические свойства, что и обыкновенный кирпич. Его отличает большая точность размеров;

7. Рядовой кирпич – изделие, обеспечивающее эксплуатационные характеристики кладки.

8. Камень с пазогребневой системой – крупноформатное пустотелое керамическое изделие с номинальной толщиной 140 мм и более, предназначенное для устройства кладок; *(с выступами на вертикальных гранях для пазогребневого соединения камней в кладке без использования кладочного раствора в вертикальных швах).*

Чтобы получить кирпич требуемых размеров, кирпич сырец формуют несколько крупнее с учетом усадки при сушке и обжиге. В силу неоднородности сырья и технологических режимов усадка не всегда одинакова, поэтому размеры кирпича отличаются от указанных выше. В связи с этим стандарт ГОСТ 530 предусматривает **допустимые отклонения от установленных размеров: ± 5 мм по длине, ± 4 мм по ширине, ± 3 мм по толщине.**

Кирпич одинарный рядовой полнотелый

Номинальные размеры: 250x120x65 мм.

Обозначение размера: 1НФ

Масса: 3,4-3,6 кг.

Класс средней плотности: 2,0

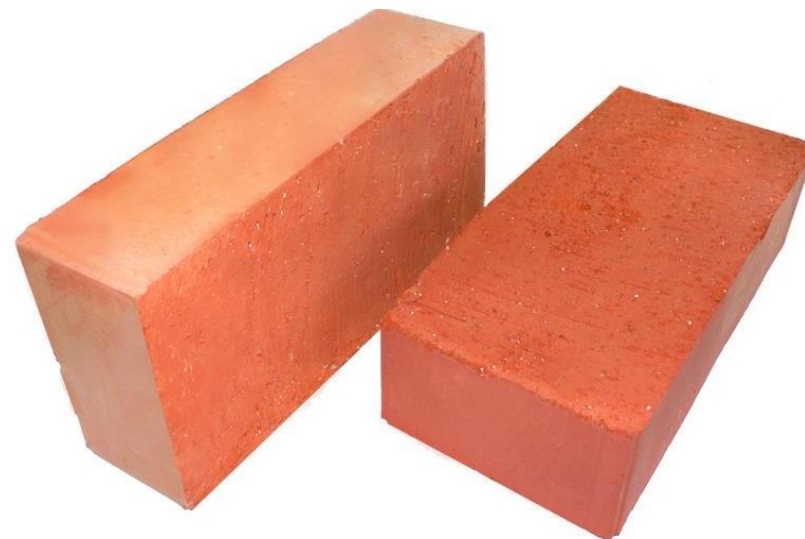
Группа по теплотехническим характеристикам:
малоэффективный

Марка по прочности: М200

Марка по морозостойкости: F50

Условное обозначение:

КР-р-по 250×120×65/1НФ/200/2,0/50/ГОСТ 530–2012



Кирпич одинарный рядовой полнотелый (с технологическими пустотами)

Номинальные размеры: 250x120x65 мм.

Обозначение размера: 1НФ

Масса: 3,3-3,5 кг.

Класс средней плотности: 2,0

Группа по теплотехническим характеристикам:
малоэффективный

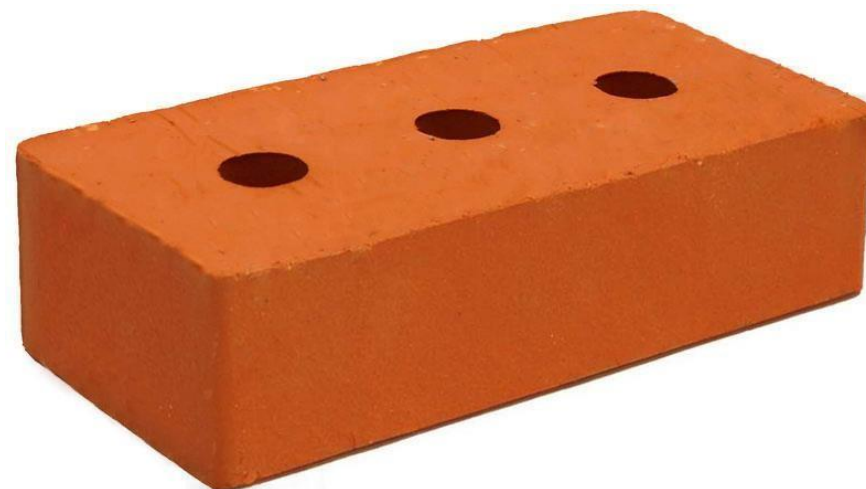
Марка по прочности: М200

Марка по морозостойкости: F50

Характерные особенности: Объем технологических пустот составляет 5% от объема изделия

Условное обозначение:

КР-р-по 250×120×65/1НФ/200/2,0/50/ГОСТ 530–2012



Кирпич одинарный лицевой пустотелый

Номинальные размеры: 250x120x65 мм.

Обозначение размера: 1НФ

Масса: 2,0-2,1 кг.

Класс средней плотности: 1,2

Группа по теплотехническим характеристикам:
эффективный

Марка по прочности: М125

Марка по морозостойкости: F35

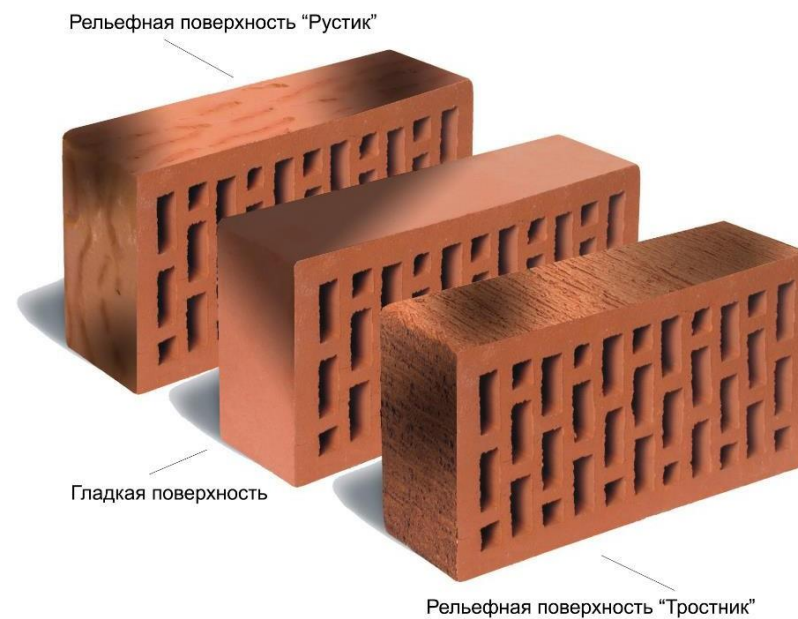
Условное обозначение:

КР-л-пу 250×120×65/1НФ/125/1,2/35/ГОСТ 530–2012

Характерные особенности:

Пустотность: 40%

С гладкой или рельефной поверхностью



Кирпич утолщенный лицевой пустотелый

Номинальные размеры: 250x120x88 мм.

Обозначение размера: 1,4 НФ

Масса: 2,8-2,9 кг.

Класс средней плотности: 1,2

Группа по теплотехническим характеристикам:
эффективный

Марка по прочности: М150

Марка по морозостойкости: F50

Условное обозначение:

КУ-л-пу 250×120×88/1,4НФ/150/1,2/50/ГОСТ 530–2012

Характерные особенности:

Пустотность: 36% , гладкая или рельефная поверхность

Кирпич «Евро» лицевой пустотелый

Номинальные размеры: 250x85x65 мм.

Обозначение размера: 0,7 НФ

Масса: 1,7-1,8 кг.

Класс средней плотности: 1,4

Группа по теплотехническим характеристикам: условно-
эффективный

Марка по прочности: М150

Марка по морозостойкости: F50

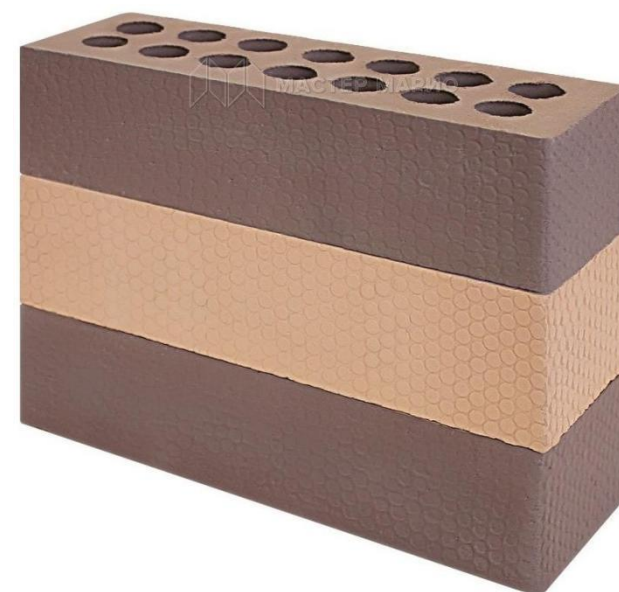
Условное обозначение:

КЕ-л-пу 250×85×65/0,7НФ/150/1,4/50/ГОСТ 530–2012

Характерные особенности:

Пустотность: 26%

С гладкой или рельефной поверхностью



Кирпич фасонный одинарный лицевой пустотелый

Номинальные размеры: 250x12x65 мм.

Марка по прочности: М125

Марка по морозостойкости: F50

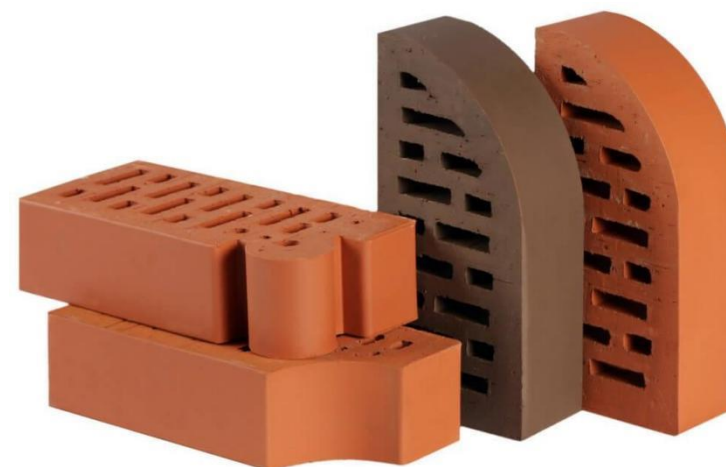
Условное обозначение:

КО-л-пу 250×120×65/1НФ/120/1,4/50/ГОСТ 530–2012

Характерные особенности:

Пустотность: 45%

С гладкой или рельефной поверхностью



Кирпич с горизонтальными пустотами

Номинальные размеры: 250x200x88 мм.

Марка по прочности: М125

Марка по морозостойкости: F50

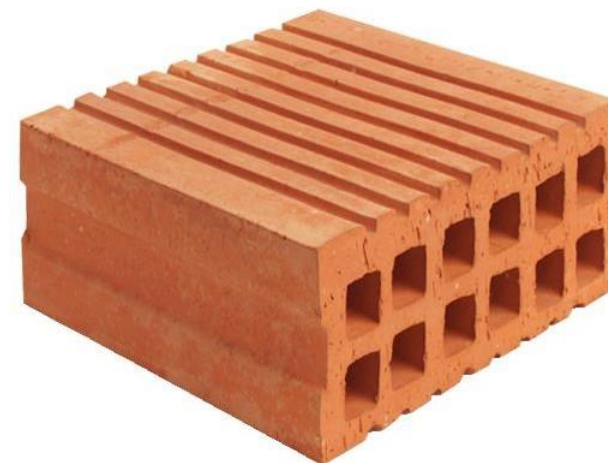
Условное обозначение:

КРГ-р-пу 250×200×88/1,8НФ/128/1,4/50/ГОСТ 530–2012

Характерные особенности:

Пустотность: 45%

С гладкой или рельефной поверхностью



Камень крупноформатный рядовой поризованный

Номинальные размеры: 510x250x219 мм.

Марка по прочности: М125

Масса: 23,0 кг.

Марка по морозостойкости: F35

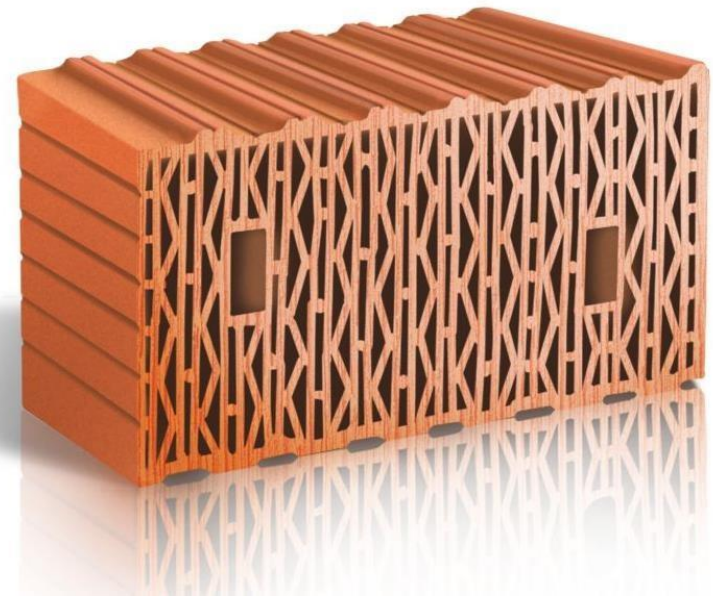
Условное обозначение:

КМ-р-пу 510×250×219/14,3НФ/125/1,0/35/ГОСТ 530–2012

Характерные особенности:

Пустотность: 52%

Имеет два сквозных отверстия для захвата, пазогребневая конструкция для соединения в кладке.



2.1 Классификация и основные размеры изделий

Керамические кирпич и камень (в дальнейшем изделия), как правило, имеют форму прямоугольного параллелепипеда (рис. 1). Для граней изделий приняты следующие названия. Рабочая грань изделия, расположенная параллельно основанию кладки, называется *постель*. *Ложок* и *тычок* – соответственно большая и меньшая грани, расположенные перпендикулярно постели.

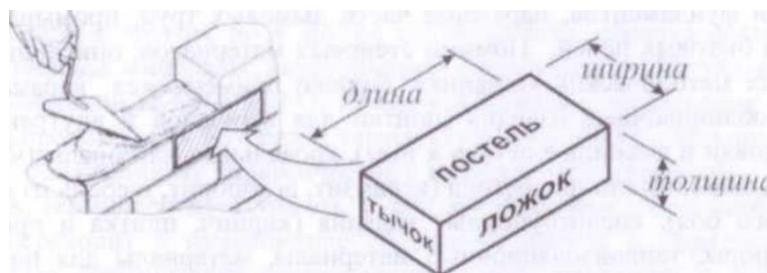


Рисунок 1 – Керамическое изделие, как элемент кладки

Камень отличается от кирпича большими размерами, а крупноформатный камень кроме того имеет на двух противоположных боковых гранях гребни и соответствующие им пазы для скрепления изделий в кладке в вертикальном направлении без раствора - пазогребневая система (см. рис. 12, цветная вклейка).

Номинальные размеры основных разновидностей изделий и обозначения их вида и размера приведены в табл. 1.

В таблице обозначение размера «1 НФ» означает «кирпич нормального формата» объемом 1950 см^3 (25x12x6,5 см). Соответственно, для других изделий обозначение размера устанавливается путем деления их объема, вычисленного по номинальным размерам в см, на 1950 с округлением результата до 0,1. Например, объем утолщенного кирпича по номинальным размерам составляет 2640 см^3 (25x12x8,8 см). Результат деления его на 1950-1,35, следовательно, обозначение размера 1,4НФ.

По назначению изделия подразделяются на *рядовые* и *лицевые*. Главное требование к рядовым изделиям - обеспечить эксплуатационные характеристики кладки: сопротивление сжатию, приведенное сопротивление теплопередаче и др. Рядовые изделия выпускаются с гладкой или рельефной поверхностью боковых граней. Рельефная поверхность обеспечивает лучшее сцепление со слоем раствора (см. рис. 1 и 2, цветная вклейка).

Таблица 1 – Номинальные размеры, обозначения вида и размера изделий

| Вид изделия | Обозначение вида | Номинальные размеры, мм | | | Обозначение размера |
|-------------|------------------|-------------------------|--------|---------|---------------------|
| | | Длина | Ширина | Толщина | |
| | | | | | |

| | | | | | |
|--|-----|-----|-----|-----|---------|
| Кирпич одинарный | КО | 250 | 120 | 65 | 1 НФ |
| Кирпич «Евро» | КЕ | 250 | 85 | 65 | 0,7 НФ |
| Кирпич утолщенный | КУ | 250 | 120 | 88 | 1,4 НФ |
| Кирпич модульный одинарный | КМ | 288 | 138 | 65 | 1,3 НФ |
| Кирпич утолщенный с горизонтальными пустотами | КУГ | 250 | 120 | 88 | 1,4 НФ |
| Камень | К | 250 | 120 | 140 | 2,1 НФ |
| | | 250 | 250 | 140 | 4,5 НФ |
| | | 288 | 138 | 140 | 2,9 НФ |
| Камень с горизонтальными пустотами | КГ | 250 | 200 | 70 | 1,8 НФ |
| Камень крупно форматный | КК | 510 | 120 | 219 | 6,7 НФ |
| | | 380 | 250 | 219 | 10,7 НФ |
| | | 510 | 250 | 219 | 14,3 НФ |

Примечание: допускается изготовление изделий других номинальных размеров: при этом предельные отклонения размеров не должны превышать значений, приведенных в разделе 2.3.

Лицевые изделия обеспечивают не только эксплуатационные характеристики кладки, но и выполняют декоративные функции. Лицевые изделия имеют не менее двух (чаще трех) лицевых граней - ложковую и тычковую (или ложковую и две тычковые), отличающихся более высоким качеством поверхности.

Лицевые изделия по способу получения лицевой поверхности бывают:

- неофактуренные с гладкой или рельефной поверхностью естественного цвета или объемно окрашенные (см. рис. 3-10, цветная вклейка);
- с поверхностью, офактуренной торкретированием, ангобированием, глазурованием или иным способом.

Для снижения стоимости лицевых керамических изделий (примерно на 20%) и затрат на транспортировку (примерно на 30%) выпускается кирпич «Евро» шириной 85 мм (см. рис. 8 и 9, цветная вклейка).

Для кладки столбов, арок и других сложных по форме конструкций по соответствующим техническим условиям производят *фасонный* лицевой одинарный и утолщенный кирпичи различной конфигурации (см. рис. 10, цветная вклейка).

Кирпич бывает *полнотелым* и *пустотелым*, а камень только *пустотелым*. Полнотелым считается кирпич без пустот или с технологическими пустотами, объем которых не превышает 13% объема изделия (см. рис. 1 и 2, цветная вклейка).

Пустотелые изделия (пустотность - 25-53 %) изготавливают с целью уменьшения их массы и снижения теплопроводности, а также для обеспечения более равномерных сушки и обжига изделий, и, как следствие, большей точности размеров и отсутствия трещин.

Пустоты различной формы и размеров могут располагаться в изделиях перпендикулярно (вертикальные) или параллельно (горизонтальные) постели. Крупноформатный камень имеет также пустоты для захвата при укладке (см. рис. 12, цветная вклейка).

Толщина наружных стенок пустотелого кирпича и камня должна быть не менее 12 мм, крупноформатного камня - не менее 10 мм. Диаметр вертикальных цилиндрических и размер стороны квадратных пустот должны быть не более 20 мм, а ширина щелевидных пустот - не более 16 мм.

Для повышения теплотехнической эффективности стеновых керамических изделий (в первую очередь крупноформатного камня) при их производстве в сырьевую массу вводят добавки: древесные опилки, измельченную бумагу, полистирольную крошку, которые при обжиге выгорают, образуя в керамическом черепке микропоры. Такие изделия принято называть поризованными.

Марки по прочности полнотелого кирпича, кирпича и камня с вертикальными пустотами: М100, М125, М150, М175, М200, М250, М300, крупноформатного камня - М35, М50, М75, М100, М125, М150, М175, М200, М250, М300, кирпича и камня с горизонтальными пустотами - М25, М35, М50, М75, М100.

В зависимости от *средней плотности* изделия подразделяют на *классы*: 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 2,0.

Марки изделий по морозостойкости: F25, F35, F50, F75, F100.

В зависимости от класса средней плотности изделия делят на *группы по теплотехническим характеристикам* (табл.2). Теплотехническую эффективность оценивают теплопроводностью кладки в сухом состоянии с минимально достаточным количеством кладочного раствора.

Таблица 2 – Группы изделий по теплотехническим характеристикам

| Класс средней плотности изделия | Группы изделий по теплотехническим характеристикам | Теплопроводность кладки в сухом состоянии, Вт/(м°С) |
|---------------------------------|--|---|
| 0,8 | Высокой эффективности | До 0,20 |
| 1,0 | Повышенной эффективности | Св. 0,20 до 0,24 |
| 1,2 | Эффективные | Св. 0,24 до 0,36 |
| 1,4 | Условно-эффективные | Св. 0,36 до 0,46 |
| 2,0 | Обыкновенные (малоэффективные) | Св. 0,46 |

2.2 Условные обозначения

Условное обозначение керамических изделий по ГОСТ 530 включает: название вида изделия, его обозначение (табл. 1), букву Р - для рядовых, Л - для лицевых изделий, обозначение По - для полнотелого кирпича, Пу - для пустотелого, обозначение размера (табл. 1), марку по прочности, класс средней плотности, марку по морозостойкости и обозначение стандарта. Допускается для более полной характеристики изделий вводить в условное

обозначение дополнительную информацию.

Примеры условных обозначений изделий Кирпич рядовой полнотелый, одинарный, размера 1НФ, марки по прочности М1 75, класса средней плотности 2,0, марки по морозостойкости F50: *Кирпич КОРПо 1НФ/175/2,0/50/ГОСТ 530-2007* Кирпич «Евро» лицевой, пустотелый, размера 0,7НФ, марки по прочности М150, класса средней плотности 1,4, марки по морозостойкости F100: *Кирпич КЕЛПу 0,7НФ/150/1,4/100/ГОСТ 530-2007* Кирпич лицевой, пустотелый, одинарный, размера 1НФ, марки по прочности М125, класса средней плотности 1,2, марки по морозостойкости F50: *Кирпич КОЛПу 1 НФ/125/1,2/50/ГОСТ 530-2007* Камень рядовой, размера 2,1НФ, марки по прочности М100, класса средней плотности 1,0, марки по морозостойкости F35:

Камень КР 2,1 НФ/100/1,0/35/ГОСТ 530 Камень крупноформатный рядовой, размера 10,7НФ, марки по прочности М75, класса средней плотности 0,8, марки по морозостойкости F25:

Камень ККР 10,7НФ/75/0,8/25/ГОСТ 530

2.3 Технические требования

Технические требования в соответствии с ГОСТ 530-2012 включают требования к внешнему виду и техническим характеристикам изделий, сырью и материалам, а также маркировке и упаковке.

Внешний вид. Предельные отклонения размеров от номинальных значений не должны превышать, мм:

| | |
|--|------|
| кирпича и камня (кроме крупноформатного) | ±4, |
| крупноформатного камня | ±10; |
| - по ширине' | |
| кирпича и камня (кроме крупноформатного) | ±3, |
| крупноформатного камня | ±5; |
| - по толщине: | |
| кирпича лицевого | ±2, |
| кирпича рядового | ±3, |
| камня, в т.ч. крупноформатного | ±4. |

Отклонение от перпендикулярности смежных граней допускается не более: для кирпича и камня - 3 мм, для крупноформатного камня - 1,4% длины любой грани.

Отклонение от плоскостности граней изделий более 3 мм не допускается.

Лицевые изделия не должны иметь отколы, вызванные карбонатными или иными включениями в сырье. На рядовых изделиях допускаются отколы общей площадью не более 1,0 см².

На лицевых изделиях не допускаются высолы, представляющие собой водорастворимые соли, выходящие на поверхность изделия при контакте с влагой.

Прочие дефекты внешнего вида изделий, размеры и число которых

превышают значения, указанные в табл. 3, не допускаются.

Таблица 3 – Дефекты внешнего вида изделий

| № | Вид дефекта | Лицевые изделия | Рядовые изделия |
|---|--|-----------------|-----------------|
| 1 | Отбитости углов глубиной более 15 мм, шт. | не допускаются | 2 |
| 2 | Отбитости углов глубиной от 3 до 15 мм, шт. | 1 | 4 |
| 3 | Отбитости ребер глубиной более 3 мм и длиной более 15 мм, шт. | не допускаются | 2 |
| 4 | Отбитости ребер глубиной не более 3 мм и длиной от 3 до 15 мм, шт. | 1 | 4 |
| 5 | Трещины, шт. | не допускаются | 2 |

Примечания: 1. Трещины в межпустотных перегородках не являются дефектом.
 2. Отбитости углов глубиной менее 3 мм и отбитости ребер длиной и глубиной менее 3 мм и трещины с шириной раскрытия не более 0,5 мм не являются браковочными признаками.
 3. Для лицевых изделий указаны дефекты лицевых граней.

У рядовых и лицевых изделий допускаются черная сердцевина и контактные пятна на поверхности (нелицевой). Черная сердцевина обусловлена образованием в процессе обжига изделия закиси железа. Контактное пятно - это участок поверхности изделия, отличный по цвету, возникающий в процессе сушки или обжига и не влияющий на характеристики изделия.

В партии изделий не допускается наличие половняка более 5%. **Половняк** - это изделия, имеющие сквозные трещины, или две части, образовавшиеся в результате раскалывания изделия. Сквозной считается трещина, проходящая через всю толщину изделия и имеющая протяженность в половину или более ширины изделия.

Марку кирпича по прочности устанавливают по пределу прочности при сжатии и изгибе, а камня - по пределу прочности при сжатии. Пределы прочности изделий должны быть не менее значений, указанных в табл. 4.

Марка определяется по среднему пределу прочности пяти образцов с учетом наименьшего значения для отдельного образца.

Таблица 4 – Требования ГОСТ 530-2012 к прочности кирпича

| Марка изделий | Предел прочности при сжатии, МПа | | Предел прочности при изгибе | | | | | |
|---------------|----------------------------------|----------------------|-----------------------------|----------------------|--|----------------------|------------------------------------|----------------------|
| | | | Полнотелого кирпича | | Пустотелого кирпича менее формата 1,4 НФ | | Пустотелого кирпича формата 1,4 НФ | |
| | Среднее для 5 | Наим. для отдельного | Среднее для 5 | Наим. для отдельного | Среднее для 5 | Наим. для отдельного | Среднее для 5 | Наим. для отдельного |
| M1000 | 100,0 | 80,0 | >4,4 | 4,4 | >3,4 | 3,4 | >2,9 | 2,9 |
| M800 | 80,0 | 64,0 | | | | | | |
| M600 | 60,0 | 48,0 | | | | | | |
| M500 | 50,0 | 40,0 | | | | | | |
| M400 | 40,0 | 32,0 | | | | | | |
| M300 | 30,0 | 25,0 | 4,4 | 2,2 | 3,4 | 1,7 | 2,9 | 1,5 |
| M250 | 25,0 | 20,0 | 3,9 | 2,0 | 2,9 | 1,5 | 2,5 | 1,3 |
| M200 | 20,0 | 17,5 | 3,4 | 1,7 | 2,5 | 1,3 | 2,3 | 1,1 |
| M175 | 17,5 | 15,0 | 3,1 | 1,5 | 2,3 | 1,1 | 2,1 | 1,0 |
| M150 | 15,0 | 12,5 | 2,8 | 1,4 | 2,1 | 1,0 | 1,8 | 0,9 |
| M125 | 12,5 | 10,0 | 2,5 | 1,2 | 1,9 | 0,9 | 1,6 | 0,8 |
| M100 | 10,0 | 7,5 | 2,2 | 1,1 | 1,6 | 0,8 | 1,4 | 0,7 |

Средняя плотность изделий в зависимости от класса средней плотности должна соответствовать значениям, приведенным в табл. 5

Таблица 5 – Классы средней плотности изделий

| Классы средней плотности изделий | Средняя плотность, кг/м ³ |
|----------------------------------|--------------------------------------|
| 0,8 | До 800 |
| 1,0 | 801-1000 |
| 1,2 | 1001-1200 |
| 1,4 | 1201-1400 |
| 2,0 | Св. 1400 |

Водопоглощение рядовых изделий должно быть не менее 6,0 %, лицевых - не менее 6,0 % и не более 14,0 %. Для изделий, изготовленных из трепелов и диатомитов, допускается водопоглощение не более 28 %.

Кирпич и камень в зависимости от марки по морозостойкости должны выдерживать без каких-либо видимых признаков разрушения (растрескивание, шелушение, выкрашивание, отколы) не менее 25; 35; 50; 75 или 100 циклов попеременного замораживания и оттаивания в насыщенном водой состоянии.

Для лицевых изделий марка по морозостойкости должна быть не ниже F50. Допускается по согласованию с потребителем поставлять лицевые изделия марки по морозостойкости F35. Марка по морозостойкости изделий, используемых для возведения дымовых труб, цоколей и стен подвалов, должна быть не ниже F50.

Удельная эффективная активность естественных радионуклидов в изделиях должна быть не более 370 Бк/кг.

2.4 Контроль качества изделий

Качество керамических изделий на производстве обеспечивают входным контролем сырья и материалов, операционным технологическим контролем и приемочным контролем готовых изделий.

Приемочный контроль включает в себя приемосдаточные и периодические испытания. Продукцию принимают партиями, состоящими из одинаковых изделий. Объем партии устанавливают в количестве, не превышающем суточной выработки одной печи. Каждая партия проходит *приемосдаточные испытания*: оценку внешнего вида, средней плотности, прочности при сжатии и изгибе.

Для оценки внешнего вида методом случайного отбора из разных мест партии отбирают 35 кирпичей или 25 камней. Эти же образцы затем используют для других испытаний. Среднюю плотность контролируют на 5-ти изделиях, прочность при сжатии - на 10-ти кирпичах или 5-ти камнях, а при изгибе - на 5-ти образцах.

Периодические испытания включают определение наличия известковых включений (1 раз в две недели), высолов (1 раз в месяц), водопоглощения (1 раз в месяц) и морозостойкости (1 раз в квартал). Для всех периодических испытаний отбирают по 5 образцов. Результаты периодических испытаний распространяются на все партии изделий, выпущенных до проведения следующих периодических испытаний.

Партию не принимают, если при проверке размеров и правильности формы два и более из отобранных от партии изделий не соответствуют стандартным требованиям. Если будет установлено несоответствие изделий стандарту хотя бы по одному из показателей (кроме внешнего вида и морозостойкости), то по этому показателю проводят повторные испытания удвоенного количества образцов из той же партии. При неудовлетворительных результатах повторных испытаний партия приемке не подлежит.

Удельную эффективную активность естественных радионуклидов контролируют при входном контроле по данным предприятия-поставщика сырьевых материалов.

Предприятие-изготовитель должно сопровождать партию изделий документом о качестве, в котором указывается наименование и условное обозначение изделия, номер партии, марка по прочности, класс средней плотности, марка по морозостойкости, водопоглощение, группа по теплотехнической эффективности, удельная эффективная активность естественных радионуклидов, способ изготовления изделий.

Оборудование и материалы

Весы лабораторные электронные, эксикатор, пресс гидравлический,

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 Определение соответствия керамического кирпича требованиям стандарта ГОСТ ТУ

Задание: определить соответствия керамического кирпича требованиям стандарта ГОСТ ТУ по внешнему виду и по эксплуатационным показателям керамического кирпича.

Цель: ознакомиться со свойствами керамического кирпича и сравнить их со свойствами других стеновых керамических изделий, определить соответствие керамического кирпича требованиям стандарта ГОСТ ТУ по

внешнему виду и по эксплуатационным показателям керамического кирпича.

Задание 1. Оценить соответствие образца керамического рядового полнотелого кирпича требованиям ГОСТ 530-2012 по размерам, форме и показателям внешнего вида

Методика: Изучить требования стандарта к форме, размерам и показателям внешнего вида керамического рядового полнотелого кирпича (раздел 2.3 настоящих методических указаний).

Ход выполнения работы

1. Ознакомиться с методами оценки внешнего вида керамических стеновых изделий (раздел 2.5.1)
2. Произвести осмотр образца кирпича, определить его размеры и наличие дефектов. Результаты измерений занести в таблицу.
3. Сравнить полученные результаты со стандартными требованиями и сделать заключение о соответствии обследованного образца требованиям ГОСТа.

Полученные результаты занести в рабочую тетрадь.

Оценка внешнего вида

Размеры изделий, толщину наружных стенок, диаметр цилиндрических пустот, размеры квадратных и щелевидных пустот, площадь отколов и длину отбитостей ребер измеряют металлической линейкой или штангенглубиномером. Погрешность измерения ± 1 мм. Длину и ширину каждого изделия измеряют в трех местах: на двух ребрах и середине постели, толщину - на двух ребрах и середине тычка. За результат измерений принимают среднее арифметическое отдельных измерений.

Ширину раскрытия трещин определяют при помощи измерительной лупы с погрешностью измерения $\pm 0,1$ мм.

Глубину отбитости углов и ребер измеряют штангенглубиномером или с помощью угольника и линейки по перпендикуляру от вершины угла или

ребра, образованного угольником, до поврежденной поверхности. Погрешность измерения ± 1 мм.

Отклонение от перпендикулярности граней определяют, прикладывая угольник к смежным граням изделия и измеряя металлической линейкой наибольший зазор между угольником и гранью с погрешностью измерения ± 1 мм. За результат измерений принимают наибольший из всех полученных результатов.

Отклонение от плоскостности изделия определяют, прикладывая одну сторону металлического угольника к ребру изделия, а другую - вдоль каждой диагонали грани и измеряя шупом или линейкой наибольший зазор между поверхностью и ребром угольника. Погрешность измерения ± 1 мм. За результат измерения принимают наибольший из всех полученных результатов.

Наличие известковых включений оценивают осмотром изделий после пропаривания. Образцы, не подвергавшиеся ранее воздействию влаги, укладывают на решетку, помещенную в сосуд с крышкой. Налитую под решетку воду нагревают до кипения и кипятят в течение 1 ч. Затем образцы охлаждают в закрытом сосуде в течение 4 ч, после чего их проверяют на соответствие стандартным требованиям.

Наличие высолов контролируют, погружая половинки изделия отбитым торцом в сосуд, заполненный на 1 – 2 см дистиллированной водой, и выдерживая в течение 7 сут (уровень воды в сосуде поддерживают постоянным). После этого образец высушивают в сушильном шкафу при температуре 100 °С до постоянной массы и сравнивают со второй половинкой образца, не подвергавшейся испытанию.

Задание 2. Ознакомиться с требованиями ГОСТ 530-2012 к маркам керамического полнотелого кирпича по прочности и методами испытания кирпича на прочность при сжатии и при изгибе

Методика: Изучить требования ГОСТ 530-2012 к маркам по прочности полнотелого кирпича и пустотелых стеновых изделий (раздел 2.3). Затем ознакомиться с методами определения прочности керамических изделий при сжатии и при изгибе (раздел 2.5.2).

Зарисовать в рабочей тетради схемы испытаний кирпича на изгиб и сжатие.

Определение прочности при сжатии и изгибе

Предел прочности при сжатии кирпича и камня и кирпича при изгибе определяют в соответствии с ГОСТ 8462. Испытывают образцы, выдержанные не менее 3-х суток в помещении при температуре $(20\pm 5)^\circ\text{C}$ или подсушенные в течение 4 ч при температуре $(105\pm 5)^\circ\text{C}$.

Предел прочности при сжатии кирпича определяют на образцах,

состоящих из двух целых кирпичей или из двух парных половинок, а предел прочности при сжатии камня и крупноформатного камня - на целом изделии.

Кирпич делят на половинки распиливанием или раскалыванием. Целые кирпичи или половинки укладывают постелями друг на друга. Половинки размещают поверхностями раскола (распила) в противоположные стороны. Допускается использовать половинки, полученные при испытании на изгиб.

Опорные грани (постель) у кирпича и камня пластического формования могут иметь отклонения от плоскостности и другие дефекты поверхности, что не обеспечивает равномерного распределения нагрузки по поверхности образца. Поэтому при подготовке образцов к испытаниям производят выравнивание опорных поверхностей.

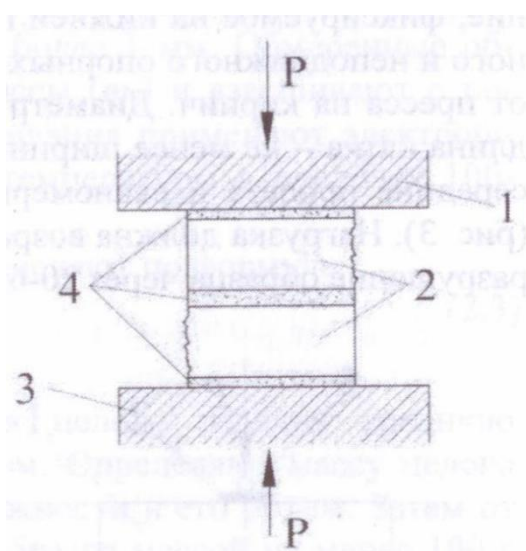
Образцы кирпича для испытания на сжатие изготавливают в следующей последовательности. Готовят раствор состава 1:1 при В/Ц=0,40-0,42 из цемента марки 400 (можно использовать портландцемент, портландцемент с минеральными добавками и шлакопортландцемент) и кварцевого песка, просеянного через сито с размером ячеек 1,25 мм. Кирпичи или их половинки полностью погружают в воду на 1 мин. Затем на горизонтально установленную пластину (металлическую или стеклянную) укладывают лист бумаги, слой раствора толщиной не более 5 мм и первый кирпич или половинку, затем опять слой раствора и второй кирпич или половинку.

Излишки раствора удаляют, а края бумаги загибают на боковые поверхности образца. В таком положении образец выдерживают 30 мин. Затем образец переворачивают и выравнивают другую опорную поверхность. Отклонение от параллельности выравненных опорных поверхностей образца, определяемое по максимальной разности любых двух его высот, не должно превышать 2 мм.

Для твердения цементного раствора образцы выдерживают трое суток в помещении при температуре $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха 60-80 %.

Допускается выравнивание опорных поверхностей образцов шлифованием, гипсовым раствором и применением пластин толщиной 5-10 мм из технического войлока или резинотканевой ленты. Керамический кирпич полусухого прессования испытывают без выравнивания опорных поверхностей.

Вид образца кирпича, подготовленного к испытанию, представлен на рис. 2. Образец обмеряют с погрешностью ± 1 мм для вычисления площади приложения нагрузки.



- 1 – верхняя плита пресса;
- 2 – половинки кирпича;
- 3 – нижняя плита пресса
- 4 – цементно-песчаный раствор

Рисунок 2 – Схема испытания образца кирпича на сжатие

Образец устанавливают между плитами пресса и центрируют. В процессе испытания нагрузка должна возрастать непрерывно и равномерно со скоростью 5-10 кН/с, что обеспечивает разрушение образца через 20-60 с. Предел прочности при сжатии $R_{сж}$ вычисляют по формуле:

$$R_{сж} = \frac{P_p}{F} \quad (2.1)$$

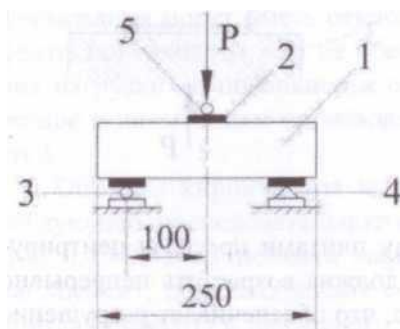
где P_p - максимальная нагрузка, при которой разрушается образец, кН;
 F - среднее арифметическое значение площадей верхней и нижней граней образца, см².

Предел прочности при сжатии вычисляют как среднее арифметическое результатов испытания всех образцов с точностью до 0,1 МПа.

Для определения марки кирпича дополнительно проводится испытание на изгиб. Предел прочности при изгибе определяют на целом кирпиче. В местах опирания и приложения нагрузки поверхность кирпича пластического формования выравнивают цементным или гипсовым раствором толщиной не более 3 мм и шириной 25-30 мм, шлифованием или с помощью прокладок.

У образцов перед испытанием измеряют с погрешностью ± 1 мм толщину и ширину в месте приложения нагрузки. Размеры вычисляют как среднее арифметическое результатов измерений двух средних линий на противоположных гранях образца.

При испытании на изгиб используют специальное приспособление, фиксируемое на нижней плите пресса, и состоящее из подвижного и неподвижного опорных катков, и катка для передачи нагрузки от пресса на кирпич. Диаметр катков должен быть не более 20 мм, длина катка - не менее ширины кирпича. Нагрузку прикладывают в середине пролета и равномерно распределяют по ширине образца (рис. 3). Нагрузка должна возрастать со скоростью, обеспечивающей разрушение образца через 20-60 с после начала испытания.



- 1 – образец;
 2 – полоски из цементно-песчаного раствора;
 3 – подвижный опорный каток;
 4 – неподвижная опора;
 5- каток для передачи нагрузки от пресса на кирпич

Рисунок 3 – Схема испытания образца кирпича на изгиб

Предел прочности при изгибе $R_{и}$, МПа вычисляют по формуле:

$$R_{и} = \frac{3P \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2} \quad (2.2)$$

где P – наибольшая нагрузка, зафиксированная при испытании, кН;

l – расстояние между осями опор, см; b и h – соответственно ширина и толщина образца в середине пролета без выравнивающего слоя, см.

Предел прочности при изгибе вычисляют с точностью 0,05 МПа как среднее арифметическое отдельных результатов испытания. При вычислении $R_{и}$ не учитывают результаты, отличающиеся от среднего значения более, чем на 50%.

Задание 3. Определить прочность при сжатии керамического полнотелого кирпича ультразвуковым методом и сделать заключение о марке по прочности.

Методика: ознакомиться с принципом работы ультразвукового импульсного прибора и его блок-схемой (раздел 3).

Ход выполнения работы

Измерить время прохождения ультразвука через образец, базу прозвучивания и рассчитать скорость ультразвука. После, по тарировочному графику (рис. 5) найти для данного изделия. Полученные данные занести в таблицу и сделать заключение о марке по прочности данного керамического изделия.

Определение прочности керамических изделий ультразвуковым импульсным методом

Описанный выше (раздел 2.5.2) стандартный метод определения прочности керамических кирпича и камня трудоемок и длителен. Кроме того, он делает непригодными для дальнейшего использования по назначению большое количество изделий.

В то же время существует ряд методов неразрушающего контроля свойств материалов. Наибольшее распространение для контроля прочности и

однородности каменных строительных материалов получил ультразвуковой импульсный метод.

Сущность ультразвукового импульсного метода заключается в прогнозировании прочностных характеристик материала по скорости распространения в нем ультразвука с использованием корреляционной связи $R_{сж} = f(V)$, выражаемой в виде соответствующего тарифовочного графика. Тарифовочный график для данного материала получают заранее в результате «прозвучивания» образцов и последующего их испытания стандартным разрушающим способом.

В процессе испытания измеряют время распространения через материал переднего фронта продольной ультразвуковой волны t , мкс, и длину образца l , называемую базой прозвучивания. Длина образца измеряется с точностью до 1 мм. Скорость ультразвука вычисляют по формуле $V = l/t$, м/с.

Упрощенная блок-схема и внешний вид ультразвукового прибора приведены на рис. 4а, б.

Генератор зондирующих импульсов 1 вырабатывает электрические импульсы стандартной амплитуды и длительности и посылает их на пьезопреобразователь-излучатель 2, в котором они преобразуются в ультразвуковые механические колебания. Эти колебания распространяются по материалу образца со скоростью, пропорциональной его плотности: чем она больше, тем выше скорость распространения механических колебаний.

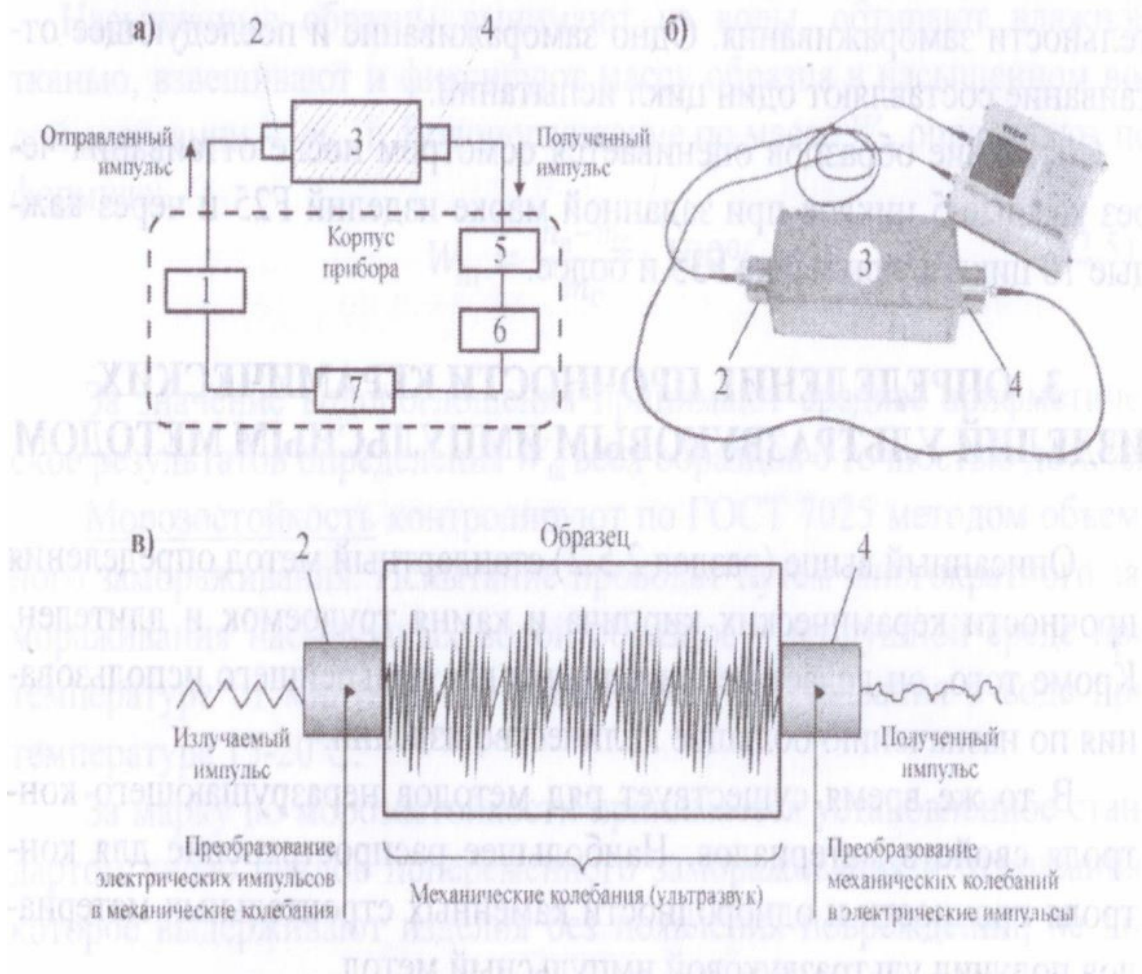


Рисунок 4 – Ультразвуковой измеритель прочности

а) блок-схема; б) внешний вид прибора; в) принципиальная схема преобразования сигналов:

1 – генератор импульсов; 2 – излучатель УЗ импульсов; 3 – испытуемый образец; 4 – приемник УЗ импульсов; 5 – нормализатор; 6 – усилитель сигнала; 7 – регистратор

Пройдя через образец материала 3, механические колебания попадают на пьезопреобразователь-приёмник 4, где они преобразуются в электрические импульсы. Однако, эти импульсы требуют корректировки формы и размеров в специальном устройстве - нормализаторе 5 до стандартных, с тем, чтобы обеспечить работоспособность всех систем прибора. Схема преобразования излучаемых высокочастотных электрических импульсов в ультразвуковые механические колебания и обратно представлена на рис. 4,в.

Нормализованные электрические импульсы попадают в усилитель 6. Цифровой индикатор 7 показывает время прохождения импульса через образец между датчиком-излучателем и датчиком - приёмником с точностью до 0,01 мкс.

Прочность образцов при сжатии $R_{сж}$ в зависимости от скорости распространения ультразвуковых колебаний в испытуемых образцах определяют по тарифовочному графику. Пример тарифовочного графика для полнотелого керамического кирпича приведен на рис. 5.

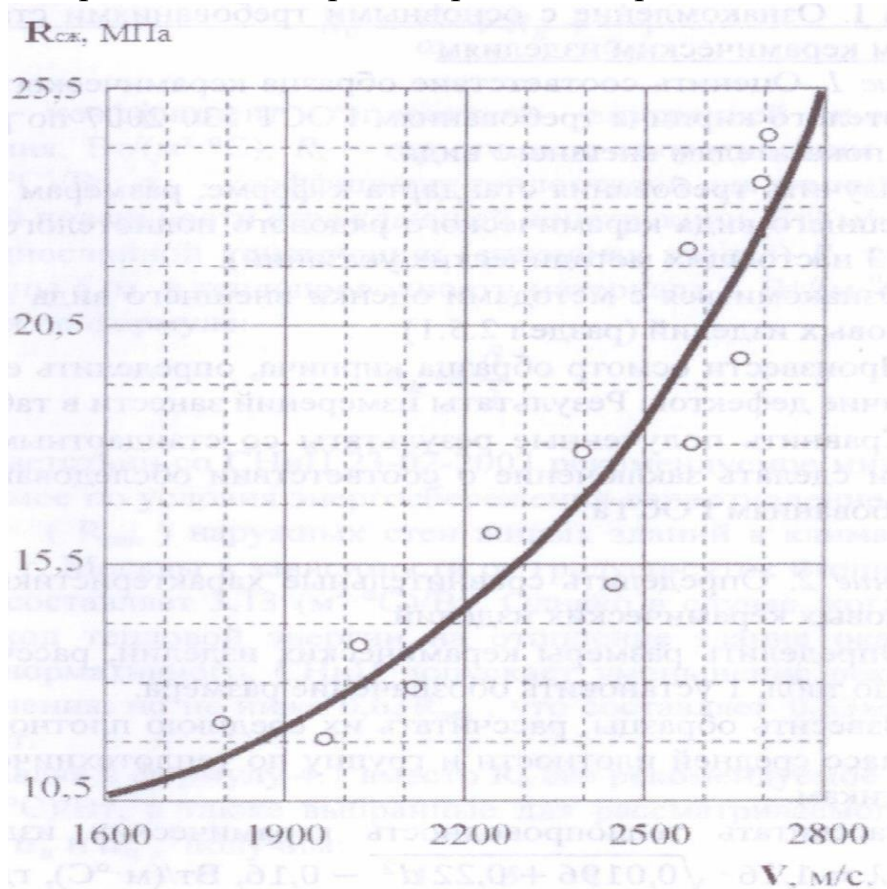


Рисунок 5 – Тарифовочный график зависимости $R_{сж} = f(V)$ для

полнотелого керамического кирпича

Для измерения времени распространения ультразвука в материале пьезопреобразователи (щупы) устанавливают соосно на противоположных тычковых гранях кирпича. Для обеспечения надежного акустического контакта между образцом и поверхностью щупов применяют контактную смазку (технический вазелин, солидол и т.д.). Мелкие раковины и неровности в месте контакта выравнивают пластилином, более крупные - механическими средствами, например, шлифованием.

Задание 4. Запишите в таблицу основные характеристики стеновых керамических изделий

Методика: Определить размеры керамических изделий, рассчитать их объем и по табл. 1 установить обозначение размера.

Ход выполнения работы

1. Взвесить образцы, рассчитать их среднюю плотность, установить класс средней плотности и группу по теплотехническим характеристикам.
2. Рассчитать теплопроводность керамических изделий по формуле $\lambda = \sqrt{1,16 \cdot 0,0196 + 0,22 d^2} - 0,16$, Вт/(м °С), где d - относительная плотность, равная отношению средней плотности материала к плотности воды. Полученные данные занести в таблицу рабочей тетради.
3. Ознакомиться с требованиями стандарта к водопоглощению, прочности и морозостойкости изделий (раздел 2.3).
4. Привести примеры условных обозначений изделий в соответствии с требованиями ГОСТ 530-2012.

Определение средней плотности, водопоглощения и морозостойкости

Среднюю плотность определяют по ГОСТ 7025 на пяти целых образцах кирпича и камня по объему брутто, т.е. без вычета пустот. Объем образцов (V_e) вычисляют по их геометрическим размерам, измеренным с погрешностью не более 1 мм. Обмеренные образцы высушивают до постоянной массы (m_c) и взвешивают с погрешностью не более 5 г. Для высушивания применяют электрошкаф с автоматической регулировкой температуры в пределах 100-110 °С.

Среднюю плотность ρ_m образца вычисляют по формуле:

$$\rho_m = \frac{m_c}{V_e} \quad (2.3)$$

При невозможности высушивания целого изделия среднюю плотность находят следующим образом. Определяют массу целого изделия в состоянии

естественной влажности и его объем. Затем от каждого изделия откалывают по два образца массой не менее 100 г каждый. Отобранные образцы взвешивают и высушивают до постоянной массы.

Среднюю плотность каждого изделия вычисляют по формуле:

$$\rho_m = \frac{m_{\text{вл}} \cdot m_c^1}{V_e \cdot m_{\text{вл}}^1} \quad (2.4)$$

где $m_{\text{вл}}$ - масса целого изделия в состоянии естественной влажности, г; V_e - объем целого изделия, см³; m_c^1 - масса отколотого образца, высушенного до постоянной массы, г.; $m_{\text{вл}}^1$ - то же, в состоянии естественной влажности, г.

За значение средней плотности партии изделий принимают среднее арифметическое результатов определения плотности всех образцов, рассчитанное с точностью до 10 кг/м³.

При контроле средней плотности партии изделий и оценке класса средней плотности допускаются отклонения ρ_m , от требований, приведенных в табл. 5, не более: для классов 0,8 и 1,0 - +50 кг/м³, а для остальных классов - +100 кг/м³.

Водопоглощение определяют по ГОСТ 7025 при насыщении образцов водой температурой (20±5) °С при атмосферном давлении. Водопоглощение определяют на пяти целых изделиях или их половинках. Образцы перед испытанием высушивают до постоянной массы m_c , г, и устанавливают на решетку в сосуд с водой комнатной температуры в один ряд с зазорами между образцами 2 см. Уровень воды должен быть выше верха образцов не менее, чем на 2 см. Образцы плотностью менее 1000 кг/м³ должны быть пригружены для предотвращения всплывания. Продолжительность выдерживания в воде 48±1 час.

Насыщенные образцы вынимают из воды, обтирают влажной тканью, взвешивают и фиксируют массу образца в насыщенном водой состоянии - m_n , г. Водопоглощение по массе W_m определяют по формуле:

$$W_m = \frac{m_n - m_c}{m_c} \cdot 100\% \quad (2.5)$$

За значение водопоглощения принимают среднее арифметическое результатов определения W_m всех образцов с точностью до 1 %.

Морозостойкость контролируют по ГОСТ 7025 методом объемного замораживания. Испытание проводят путем многократного замораживания насыщенных водой образцов в воздушной среде при температуре от минус 15 до минус 20°С и оттаивания в воде при температуре 15-20°С.

За марку по морозостойкости принимается установленное стандартом число циклов попеременного замораживания и оттаивания, которое выдерживают изделия без появления повреждений, не допускаемых стандартом: растрескивания, отколов, шелушения, выкрашивания и т.п. Растрескивание — это появление или увеличение размера трещины после воздействия знакопеременных температур. Шелушение — это разрушение в виде отслоения от поверхности изделия тонких пластинок. Выкрашивание - осыпание фрагментов поверхности изделия.

Испытание на морозостойкость кирпича и камня проводят на целых изделиях или их половинках. На образцах перед испытанием несмываемой краской фиксируют трещины, отколы ребер, углов и другие дефекты, допускаемые стандартом. Образцы со значительными дефектами испытанию не подлежат. Допускается для оценки морозостойкости использовать образцы после испытания на водопоглощение.

Образцы насыщают водой с температурой 15-20°C так же, как при определении водопоглощения.

Замораживание образцов производят в морозильной камере с принудительной вентиляцией и автоматическим регулированием температуры. Продолжительность замораживания при установившейся температуре должна быть не менее 4 часов.

После окончания замораживания образцы в контейнерах полностью погружают в емкость с водой температурой 15-20°C, которая поддерживается в течение всего периода оттаивания. Продолжительность оттаивания должна быть не менее половины продолжительности замораживания. Одно замораживание и последующее оттаивание составляют один цикл испытаний.

Состояние образцов оценивается осмотром после оттаивания через каждые 5 циклов при заданной марке изделий F25 и через каждые 10 циклов при марке F35 и более.

Задание 5. Рассчитать толщину сплошной кладки (условной наружной стены) из керамических изделий различной плотности, обеспечивающую минимально допускаемое по условию энергосбережения сопротивление теплопередаче

Методика: Произвести теоретический расчет сопротивления теплопередачи R_0 , ($m^2 \times ^\circ C$)/Вт, ограждающей конструкции, которая находится по формуле:

$$R_0^{усл} = \frac{1}{\alpha_B} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_H}, \text{ где:}$$

$\alpha_B = 8,7$ коэффициент теплоотдачи от внутренней поверхности ограждающей конструкции, Вт/($m^2 \times ^\circ C$) (см. табл. 4 СП 50.13330.2012);

$\alpha_H = 23$ коэффициент теплоотдачи наружной поверхности ограждающей конструкции, Вт/($m^2 \times ^\circ C$) (см. табл. 6 СП 50.13330.2012);

δ_i - толщина каждого слоя стены, м;

λ_i - коэффициент теплопроводности каждого слоя стены, Вт/($m \times ^\circ C$).

Таким образом, для однослойной стены: $R_0^{норм} - \left(\frac{1}{\alpha_B} + \frac{1}{\alpha_H} \right) = \frac{\delta}{\lambda}$.

$R_{норм}$ - нормируемое из условия энергосбережения в течение отопительного периода значение сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции, $m^2 \times ^\circ C$ /Вт, определяемое по п. 5.2 СП 50.13330.2012 в зависимости от типа и назначения здания, расчетной температуры

внутреннего воздуха в здании, средней температуры наружного воздуха в течение отопительного периода и продолжительности отопительного периода.

Для стен жилых зданий в климатических условиях г. Ставрополя, исходя из условия энергосбережения $R_{норм} = 2,52 \text{ м}^2 \times \text{°C}/\text{Вт}$ (см. п. 5.2 СП 50.13330.2012).

Ход выполнения работы

1. По известным значениям теплопроводности кладки из керамических изделий различной плотности на цементно-песчаном растворе (плотность раствора 1800 кг/м³) рассчитать толщину условной наружной стены. Полученные данные занести в таблицу. В примечаниях следует дать рекомендации по обеспечению необходимого значения сопротивления теплопередаче при использовании данного вида изделий.

2. Построить график зависимости толщины кладки из керамических изделий от ее средней плотности и сделать соответствующий вывод.

Контрольные вопросы

1. Что является сырьем для производства керамических изделий? Какие материалы называют керамическими?

2. Как примеси влияют на пластичность глин, и к каким дефектам приводят?

3. Перечислите основные виды добавок и для чего их добавляют? Назовите примеры различных добавок.

4. Физико-химические процессы происходящие при обжиге глины.

5. Перечислите этапы производства керамических изделий?

6. Способы формирования керамических изделий: сухой, полусухой, жесткий, пластический, шликерный?

7. В чем состоит разница между полусухим и пластическим способом изготовления кирпича? Как влияет способ формования на качество кирпича?

8. Что такое спекаемость, недожог, пережог?

9. Назовите размеры стандартного кирпича? Что такое кирпич нормального формата?

10. Чем рядовой кирпич отличается от лицевого?

11. По способу получения лицевой поверхности лицевые изделия бывают...

12. Зачем выпускается фасонный и Еврокирпич?

13. Что такое полнотелый и пустотелый кирпич?

14. Какие добавки добавляют для повышения теплотехнической эффективности стеновых материалов?

15. Приведите пример условного обозначения кирпича/камня?

16. Расскажите о классификации керамических изделий по их

назначению.

17. Что такое глазурь и ангоб? Для чего их используют?
18. По каким показателям оценивают качество стеновых штучных материалов (кирпича силикатного и керамического)?
19. Какие отделочные керамические материалы вы знаете? Какие технические показатели определяют качество керамических материалов для наружной отделки зданий? Для внутренней отделки?
20. Какими свойствами обладает глина?
21. В чем разница между терминами «кирпич керамический» и «камень керамический»?
22. Какие керамические изделия применяют для облицовки фасадов зданий?
23. Какие керамические изделия применяют для внутренней облицовки стен?
24. Назовите керамические изделия специального назначения.
25. Какое сырье требуется для производства силикатного кирпича?
26. Что происходит при автоклавной обработке силикатного кирпича?
Физический смысл и химическая реакция.
27. Чем отличается эффективный кирпич от условно-эффективного?
28. Как зависит толщина наружных стен от теплопроводности материала?
29. Какие требования предъявляются к керамическим изделиям по внешнему виду? Какие для лицевых и какие для рядовых?
30. Что такое половняк? Сколько допустимое значение?
31. По каким показателям и как определяется марка кирпича по прочности?
32. Почему недопустимо испытывать кирпич на сжатие без специальной подготовки образца?
33. Почему силикатный кирпич не применяют для кладки стен подземной части зданий? Для кладки печей?
34. Что значит марка кирпича 75, 100, 300?
35. Как определить предел прочности при сжатии?
36. Как определить предел прочности при изгибе?
37. В чем преимущество применения пустотелого кирпича по сравнению с полнотелым?
38. Как определить водопоглощение кирпича? Почему согласно ГОСТ к стеновым материалам предъявляют требования по водопоглощению? Каково требуемое значение водопоглощения для рядовых и лицевых изделий?
39. Что такое коэффициент насыщения? Какое свойство кирпича он характеризует?
40. Как определяется средняя плотность кирпича?
41. Как определяется марка по морозостойкости кирпича?
42. Как проводится контроль качества изделий? Что такое периодические и приемосдаточные испытания?

43. Как определяют прочность керамических изделий ультразвуковым и импульсным методом?

Рекомендуемая литература

3. Рыбьев, И.А. Строительное материаловедение [Текст]: учебное пособие для бакалавров/ И.А.Рыбьев. – 4-е изд. – М.: Издательство Юрайт, 2012. – 701 с. – Серия: Бакалавр – ISBN 978-5-9916-9

4. Строительные материалы [Текст]: учебник для студ. учреждений высш. Проф. образования / Л.А. Алимов, В.В. Воронин. –М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 320 с. – ISBN: 978-5-7695-8336-0

3. Микульский, В. Г. Строительные материалы (Материаловедение. Строительные материалы) [Текст]: учебник/ В. Г. Микульский, Г. И. Горчаков, В. В. Козлов и др.; под ред. В. Г. Микульского и В. В. Козлова. – М. : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2004. – 536 с. – ISBN 5-93093-041-4

4. Попов, К. Н. Строительные материалы и изделия [Текст]: учебник / К.Н. Попов, М.Б. Каддо. – М.: Высшая школа, 2001. – 367 с. – ISBN 5-06-003799-1

5. Фетисов, Г. П. материаловедение и технология металлов [Текст]: учебник для вузов / Г. П. Фетисов, М. Г. Карпман, В. М. Матюнин и др.; под ред. Г. П. Фетисов – М. : Высшая школа, 2000. – 638 с. – ISBN: 5-06-004418-1

5. Невского, В.А. Строительное материаловедение [Текст]: учебное пособие / под общ. ред. В.А.Невского. – Изд. 3-е, доп. и перераб. – Рстов н/Д: Феникс, 2010. – 588 с. – ISBN: 978-5-222-17506-4

6. Ковалев Я.Н. Строительные материалы [Текст]: Лабораторный практикум / Я.Н. Ковалев, Г.С. Галузо, А.Э. Змачинский, Т.А. Чистова; под ред. проф. Я.Н. Ковалев – М. : Издательский центр « НИЦ Инфра-М, Новое знание», 2015. – 633 с. – ISBN: 978-5-16-006406-2

7. Барабанщиков Ю.Г. Строительные материалы и изделия [Текст]: учебник для учреждений сред. Проф. образования/ Ю.Г. Барабанщиков.– 4-е изд.,стер.–М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 416 с. – ISBN: 978-5-7695-9859-3

Раздел 1. Строительные материалы и изделия

Тема 1.3. Минеральные (неорганические) вяжущие материалы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «Минеральные вяжущие»

Цель работы: ознакомиться с методикой испытания водопотребности и сроками схватывания гипсового вяжущего в соответствии с нормативной документацией (по ГОСТ МУ и ГОСТ ТУ).

Теоретическая часть

Вяжущие вещества используются для получения широкого спектра строительных материалов: бетонов, строительных растворов, сухих строительных смесей, гидроизоляционных, кровельных, теплоизоляционных, полимерных материалов и др. Вяжущие вещества обладают ценным свойством – соединяют отдельные компоненты материала (например, зерна песка, гравия, щебня в бетоне) в единое целое.

По составу вяжущие вещества делят на две группы:

- **Неорганические** (минеральные), которые затворяют водой, реже – водными растворами солей. К ним относятся известь, цементы, гипсовые вяжущие, жидкое стекло, магнезиальные вяжущие и др.
- **Органические**, переводимые в рабочее состояние нагреванием или растворением в органических растворителях (битумы, полимеры). Для этой группы часто применяется термин «связующее».

Неорганические вяжущие вещества – порошкообразные материалы, которые при смешивании с водой образуют пластично-вязкое тесто, способное со временем самопроизвольно затвердевать в результате физико-химических процессов. Это свойство широко используют при изготовлении искусственных безобжиговых материалов: бетонов, строительных растворов, силикатного кирпича, асбестоцементных изделий, гипсокартонных листов и др.

Неорганические вяжущие вещества по условиям твердения и водостойкости делятся на три группы:

- **Воздушные вяжущие вещества** способны затвердевать и длительно сохранять прочность только на воздухе. К ним относятся воздушная строительная известь, гипсовые вяжущие, магнезиальные вяжущие, жидкое стекло.
- **Гидравлические вяжущие вещества** способны твердеть и длительное время сохранять прочность (или даже повышать ее) не только на воздухе, но и в воде. К гидравлическим вяжущим относятся портландцемент и его разновидности, глиноземистый цемент и его разновидности.
- **Вяжущие вещества автоклавного твердения** эффективно твердеют (быстро набирают прочность) только в среде насыщенного водяного пара в автоклавах (при температуре 175...200°С и давлении 0,8...1,3 МПа). К

ним относятся известково-кремнеземистые, известково-золевые, известково-шлаковые вяжущие, нефелиновый цемент и др.

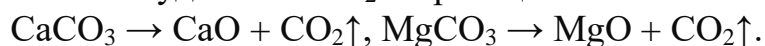
Воздушная известь – воздушное вяжущее вещество, получаемое в результате умеренного обжига (ниже температуры спекания) кальциево-магниевого карбонатных горных пород.

Известь – древнейшее вяжущее вещество, которое было известно за несколько тысяч лет до нашей эры.

Сырьем для производства воздушной извести служат известняки, мел, доломитизированный известняк, доломит с содержанием глинистых примесей не более 6%. Основной составляющей известняка и мела является минерал кальцит CaCO_3 , доломита – минерал доломит $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$.

Производство и виды извести. Технология производства воздушной извести включает добычу сырья, его подготовку (дробление, сортировку по крупности и др.), обжиг, гашение извести или помол, упаковку готового продукта.

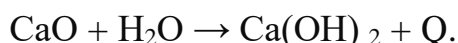
На обжиг известняк поступает в виде кусков размером 8...20 см. Обжиг производят в шахтных или вращающихся печах при температуре 900...1200°C до возможно более полного удаления CO_2 по реакциям:



Выделяющийся при термической диссоциации CaCO_3 углекислый газ CO_2 составляет 44% от массы CaCO_3 , поэтому образующаяся **комовая негашеная известь** ($\text{CaO} + \text{MgO}$) получается в виде пористых кусков, активно взаимодействующих с водой. Комовая известь – это полуфабрикат, из которого получают вяжущее – молотую негашеную известь или гашеную известь.

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

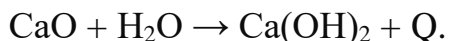
Процесс взаимодействия извести с водой называется гашением, а получаемый продукт – **гашеной известью**:



Воздушная известь – единственное вяжущее, которое можно перевести в тонкодисперсное состояние не только помолом, но и гашением (химическим диспергированием). Гашение извести протекает с выделением такого большого количества теплоты (1163 кДж/кг), что смесь закипает, поэтому комовую негашеную известь называют также **известью-кипелкой**. Из-за испарения воды при «закипании» смеси гашеная известь самопроизвольно рассыпается («распушивается») в тонкодисперсный порошок с размером частиц 5...20 мкм, который называют **известью-пушонкой**, или **гидратной известью**. Если известь гасится в избытке воды, получают известковое тесто (2–3 части воды на 1 часть известии-кипелки), или известковое молоко (более трех частей воды).

Твердение извести. Строительные растворы на **молотой негашеной известии** быстро схватываются и отвердевают вследствие *гидратационного*

твердения:

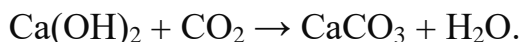


При правильно подобранном водоизвестковом отношении В/И=0,9–1,5, кристаллы гидроксида кальция срастаются между собой и быстро образуют достаточно прочный камень.

Твердение гашеной извести происходит медленно, на воздухе и обусловлено двумя одновременно протекающими процессами:

высыханием раствора, сближением кристаллов $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и их срастанием;

карбонизацией извести под действием углекислого газа, содержащегося в воздухе:



Образующиеся кристаллы CaCO_3 срастаются с кристаллами $\text{Ca}(\text{OH})_2$, повышая прочность известкового камня. Твердение известковых растворов ускоряется сушкой.

При производстве автоклавных силикатных изделий (силикатного кирпича, автоклавных ячеистых бетонов и др.) из смесей, содержащих известь, молотый кварцевый песок и воду, имеет место *гидросиликатное твердение извести*:



При повышенной температуре в автоклаве известь взаимодействует с диоксидом кремния SiO_2 (в виде молотого песка), с образованием малорастворимых в воде низкоосновных гидросиликатов кальция различного состава, обуславливающих прочность и водостойкость силикатных изделий.

К основным **нормируемым показателям качества** воздушной извести относят: активность, количество непогасившихся зерен (недожог и пережог) и время гашения.

Активность – процентное содержание оксидов, способных гаситься. Чем выше содержание основных оксидов в извести ($\text{CaO} + \text{MgO}$), тем выше её сорт и пластичнее известковое тесто.

В зависимости от содержания MgO в обожженном продукте воздушную известь подразделяют на:

- кальциевую: $\text{MgO} \leq 5\%$;
- магнезиальную: $5\% < \text{MgO} \leq 20\%$;
- доломитовую: $20\% < \text{MgO} \leq 40\%$.

Частицы недожога и пережога снижают качество извести. Частицы

недожога (неразложившиеся при обжиге зерна сырья) отощают известковое тесто, снижают его пластичность. Частицы **пережога** (остеклованные плотные трудногасящиеся оксиды кальция и магния) крайне медленно гидратируются с увеличением своего объема, что может вызвать растрескивание известковой штукатурки. Воздушная известь должна выдерживать испытание на равномерность изменения объема.

По активности, содержанию непогасившихся зерен и другим показателям химического состава воздушная строительная известь делится на 3 сорта (табл. 4.1).

Таблица 4.1 – Требования к химическому составу негашеной извести

| Наименование показателя | Норма для извести, %, по массе | | |
|--|--------------------------------|------------|--------|
| | сорт | | |
| | 1 | 2 | 3 |
| Содержание активных (CaO+MgO), % по массе, не менее | 90(85) | 80 (75) | 70(65) |
| Содержание непогасившихся зерен, % по массе, не более | 7(10) | 11(15) | 14(20) |
| Содержание CO ₂ в составе извести, % по массе, не более | 3(5) | 5(8) | 7(11) |

Примечание. В скобках указаны характеристики магниевой и доломитовой извести

Степень дисперсности порошкообразной воздушной извести должна быть такой, чтобы при просеивании пробы извести сквозь сито с сетками № 02 (200 мкм) и №008 (80 мкм) проходило соответственно не менее 98,5 и 85 % массы просеиваемой пробы.

Истинная плотность негашеной извести колеблется в пределах 3100...3300 кг/м³. **Насыпная плотность** молотой негашеной извести в рыхлонасыпном состоянии 900...1100 кг/м³, в уплотненном – 1100...1300 кг/м³; для гидратной извести в рыхлонасыпном состоянии – 400...500 кг/м³, в уплотненном – 600...700 кг/м³.

Воздушную негашеную известь в зависимости от **времени гашения** подразделяют на 3 группы (табл.4.2).

Таблица 4.2 – Классификация извести по времени гашения

| Группа извести | Время гашения извести |
|-------------------|-----------------------|
| Быстрогасящаяся | не более 8 мин. |
| Среднегасящаяся | не более 25 мин. |
| Медленногасящаяся | более 25 мин. |

Влажность гидратной извести не должна быть более 5%. Содержание гидратной воды в негашеной извести не должно быть более 2%.

Ценнейшее свойство воздушной извести – **высокая пластичность и водоудерживающая способность** известкового теста, обусловленные огромной удельной поверхностью частиц.

Прочность известковых растворов невысока: предел прочности при сжатии в возрасте 28 суток воздушного твердения составляет 0,4...1,0 МПа у растворов на гашеной извести и до 5,0 МПа у растворов на молотой негашеной извести. Поэтому в отличие от других вяжущих известь не делится на марки по прочности; прочность воздушной извести не нормируется. При длительном твердении (годы и десятки лет) прочность известковых растворов может увеличиваться до 7...10 МПа вследствие дальнейшей карбонизации и образования гидросиликатов кальция.

В строительстве известь из-за **большой усадки** при твердении и возможного растрескивания применяют только в виде растворов и бетонов, т.е. в смеси с заполнителями.

Воздушная строительная известь используется при производстве силикатного кирпича и камней, силикатобетонных блоков, плит, панелей автоклавного твердения, изделий из автоклавных ячеистых бетонов, как составная часть смешанных вяжущих (известково-шлаковые, известково-пуццолановые и др.), при производстве сухих строительных смесей, для изготовления известковых красок.

Гипсовые вяжущие вещества – это воздушные вяжущие вещества, состоящие в основном из полуводного гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ или ангидрита CaSO_4 .

Сырьем для производства гипсовых вяжущих служат мономинеральная горная порода гипс, состоящая из двухводного сульфата кальция $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, и природный ангидрит CaSO_4 , а также отходы химической промышленности, содержащие двухводный или безводный сернокислый кальций, например, фосфогипс (отход при производстве фосфорной кислоты).

Производство гипсовых вяжущих состоит в измельчении и последующей тепловой обработке сырья. В зависимости от температуры обжига, гипсовые вяжущие подразделяются на 2 группы:

- Низкообжиговые (температура обжига 110...180°C), составляют более 95% объема производства гипсовых вяжущих веществ;
- Высокообжиговые (температура обжига 600...1000°C).

Низкообжиговые гипсовые вяжущие состоят преимущественно из полуводного гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$. Дегидратация сырья в процессе термической обработки происходит по реакции:



Существуют две технологии получения низкообжиговых гипсовых

вяжущих:

- Обжиг сырья в открытых агрегатах – варочных котлах или печах, когда вода в процессе обжига удаляется в виде пара. По такой технологии получают **строительный гипс**, который состоит в основном из мелких кристаллов β -CaSO₄·0,5H₂O и обладает высокой водопотребностью. В строительном гипсе может содержаться небольшое количество ангидрита CaSO₄ (пережог) и частицы неразложившегося сырья CaSO₄·2H₂O (недожог). Прочность при сжатии образцов из строительного гипса достигает 10...12 МПа.

- Обжиг сырья в герметически закрытых аппаратах в среде насыщенного пара под давлением. В этом случае вода из гипсовой породы удаляется в капельножидком состоянии, а получаемый продукт обжига состоит из крупных плотных кристаллов в виде игл или призм. Эта модификация гипса α -CaSO₄·0,5H₂O называется **высокопрочным гипсом**. Он отличается от β -модификации меньшей водопотребностью, а, следовательно, изделия из такого гипса имеют пониженную пористость и высокую прочность (15-25 МПа).

Высокообжиговые гипсовые вяжущие (ангидритовые вяжущие) состоят преимущественно из ангидрита CaSO₄ и 3...5% CaO, образующегося при разложении CaSO₄ и выполняющего роль активизатора твердения CaSO₄. Ангидритовое вяжущее получают обжигом CaSO₄·2H₂O при температуре 600...1000°C, либо помолом природного ангидрита CaSO₄ с добавками-активизаторами твердения (известью, обожженным доломитом и др.). Высокообжиговый гипс имеет прочность 10...20 МПа, по сравнению с низкообжиговыми гипсовыми вяжущими медленно схватывается и твердеет, но обладает повышенной водостойкостью.

Твердение α - и β -модификаций гипса обусловлено переходом их при взаимодействии с водой в двугидрат по реакции:



Процесс твердения гипса впервые описал французский ученый А. Лешателье (H. Le Chatelier) в 1887 г. При смешивании с водой полуводный гипс растворяется до образования насыщенного раствора, в котором он гидратируется с образованием двугидрата. Поскольку растворимость в воде двугидрата в 4 раза меньше, чем полугидрата (2 г/л против 8 г/л), раствор оказывается пересыщенным по отношению к двугидрату, и он в виде кристаллов CaSO₄·2H₂O выделяется из раствора. По мере накопления двугидрата происходит схватывание (загустевание) гипсового теста. После схватывания начинается твердение, обусловленное ростом кристаллов, их ростом, образованием кристаллического сростка из достаточно крупных кристаллов двуводного гипса. Твердение гипса сопровождается выделением теплоты – 133 кДж/кг для β -модификации.

Показатели качества и свойства

К нормируемым показателям качества гипсовых вяжущих относят:

марку по прочности, сроки схватывания и степень помола.

По **степени помола** различают 3 вида гипсовых вяжущих (таблица 4.3).

Таблица 4.3 – Виды гипсовых вяжущих веществ по степени помола

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

Степень помола оценивают путем просеивания пробы вяжущего сквозь сито с размером ячейки 0,2 мм по остатку на сите, выраженному в % массы просеиваемой пробы.

Истинная плотность гипсовых вяжущих изменяется в пределах 2600...2750 кг/м³. **Насыпная плотность** в рыхлом состоянии составляет 800...1100 кг/м³, в уплотненном – 1250...1450 кг/м³.

Водопотребность гипса выражают количеством воды в % массы вяжущего, необходимым для получения гипсового теста *стандартной консистенции*, которое используют при определении сроков схватывания и марки гипсового вяжущего по прочности. Водопотребность гипса не нормируется, определяется подбором (по вискозиметру Сутгарда) и существенно влияет на прочность и сроки схватывания гипса: чем она выше, тем больше сроки схватывания и ниже прочность.

Отличительной особенностью гипсовых вяжущих является их **быстрое схватывание и твердение**.

В зависимости от **сроков схватывания** различают 3 вида гипсовых вяжущих (табл. 4.4).

Таблица 4.4 – Виды гипсовых вяжущих веществ по срокам схватывания

| Вид вяжущего | Индекс сроков схватывания | Сроки схватывания, мин | |
|---------------------|---------------------------|------------------------|-------------------|
| | | начало, не ранее | конец, не позднее |
| Быстротвердеющее | A | 2 | 15 |
| Нормальнотвердеющее | B | 6 | 30 |
| Медленнотвердеющее | B | 20 | не нормируется |

Сроки схватывания гипса определяют при помощи прибора Вика с иглой на гипсовом тесте *стандартной консистенции*. Сроки схватывания можно регулировать введением добавок – замедлителей схватывания.

В зависимости от **предела прочности при изгибе и сжатии** установлены **12 марок гипсовых вяжущих** (табл. 4.3). Марку гипсовых вяжущих определяют по результатам испытания на изгиб трех образцов-балочек размером 4×4×16 см и испытания на сжатие шести половинок

образцов-балочек, изготовленных из гипсового теста *стандартной консистенции* и твердевших на воздухе в течение 2 часов после затворения гипса водой.

Гипс – одно из немногих вяжущих, *увеличивающихся в объеме при твердении (до 1%)*, что способствует изготовлению архитектурных деталей литьевым способом.

Теоретически для гидратации полуводного гипса с образованием двуводного гипса требуется 18,6% воды от массы гипсового вяжущего. Практически для получения удобоформуемой смеси строительный гипс требует 50...70% воды, высокопрочный – 30...40%.

Таблица 4.3 – Марки гипсовых вяжущих веществ по прочности

| Марка вяжущего | Предел прочности в возрасте 2 ч, МПа, не менее | | Марка вяжущего | Предел прочности в возрасте 2 ч, МПа, не менее | |
|----------------|--|-------------|----------------|--|-------------|
| | пр и сжатии | пр и изгибе | | пр и сжатии | пр и изгибе |
| Г-2 | 2,0 | 1,2 | Г-10 | 10,0 | 4,5 |
| Г-3 | 3,0 | 1,8 | Г-13 | 13,0 | 5,5 |
| Г-4 | 4,0 | 2,0 | Г-16 | 16,0 | 6,0 |
| Г-5 | 5,0 | 2,5 | Г-19 | 19,0 | 6,5 |
| Г-6 | 6,0 | 3,0 | Г-22 | 22,0 | 7,0 |
| Г-7 | 7,0 | 3,5 | Г-25 | 25,0 | 8,0 |

Химически несвязанная вода формирует *высокую пористость гипсового камня – 40...60%*. *Средняя плотность гипсового камня* при этом составляет *1200...1500 кг/м³*. Свежеизготовленные гипсовые изделия содержат много химически несвязанной воды, снижающей их прочность. Для повышения прочности изделия сушат при температуре 60...70°C.

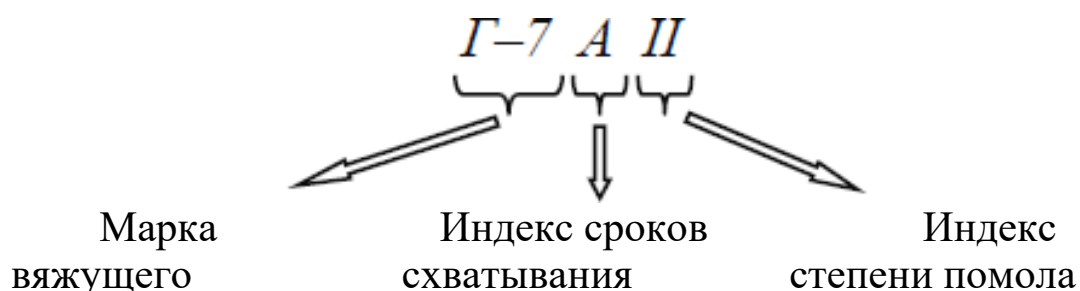
Водостойкость гипсовых изделий низкая – коэффициент размягчения составляет 0,3...0,5 в зависимости от водогипсового отношения. Вследствие высокой пористости, *гипсовые изделия гигроскопичны*. В результате сорбционного увлажнения прочность изделий может снижаться на 30...40%. Водостойкость повышают гидрофобизирующие добавки и пропитки, интенсивное уплотнение.

К недостаткам гипсовых вяжущих веществ также относят *ползучесть влажного гипсового камня* и *коррозию стальной арматуры* в гипсовых изделиях.

Гипсовые изделия *огнестойки*: они достаточно медленно прогреваются и разрушаются через 6...8 часов после начала нагрева, что

позволяет устраивать, например, гипсокартонные перегородки с пределом огнестойкости до EI 240.

В *условном обозначении* гипсового вяжущего отражены нормируемые показатели качества:



Применение гипсовых вяжущих

Гипсовые вяжущие вещества применяются для производства сухих строительных смесей различного назначения (штукатурных, шпаклевочных, для наливных полов и др.); гипсокартонных и гипсоволокнистых листов, звукопоглощающих перфорированных плит и панелей, плит для модульных потолков и др.; гипсобетонных изделий, гипсовых пазогребневых плит для перегородок, тонкостенных изделий (вентиляционные короба и др.); гипсовых архитектурных деталей; гипсоцементно-пуццолановых вяжущих.

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 4 Определение водопотребности и сроков схватывания гипса

Задание: определить водопотребность и сроки схватывания гипсового вяжущего вещества (по [ГОСТ 23789–79 Вяжущие гипсовые. Методы испытаний](#))

Цель: ознакомиться с понятиями *водопотребность* и *сроки схватывания гипсового вяжущего вещества* и методам их определения

Задание 1. Определение водопотребности гипса

Методика: определение диаметра расплыва гипсового теста на стандартном приборе (вискозиметре Суттарда). Диаметр расплыва теста стандартной консистенции должен быть равен (180 ± 5) мм.

Оборудование: чаша, ручная мешалка, пластина из стекла или оргстекла, вискозиметр Суттарда, секундомер, линейка, весы, мерный цилиндр.

Ход выполнения работы

1. Изобразить схему испытания (рис. 4.1. б).
2. Отвесить 300 г гипсового вяжущего.
3. При помощи мерного цилиндра отмерить требуемое количество воды (принимается по указанию преподавателя в интервале 52...58 % массы гипсового вяжущего).
4. Вискозиметр Суттарда (рис. 4.1. а), представляющий собой полый латунный цилиндр высотой 100 мм и внутренним диаметром 50 мм, и стеклянную пластину предварительно протереть влажной тканью.
5. В чистую чашу, предварительно протертую влажной тканью,

вливать воду, затем в течение 2-5 с в воду всыпать 300 г гипсового вяжущего. Одновременно с началом затворения гипса водой включить секундомер. Массу перемешивать ручной мешалкой в течение 30 с, начиная отсчет времени с момента затворения гипсового вяжущего водой.

6. После окончания перемешивания цилиндр вискозиметра Суттарда, установленный в центре пластины, заполнить гипсовым тестом, излишки которого срезать линейкой.

7. Через 45 с, считая с момента затворения гипса водой, или через 15 с после окончания перемешивания цилиндр быстро поднять вертикально на высоту 15...20 см и отвести в сторону.

8. Измерить диаметр расплыва гипсового теста линейкой в двух перпендикулярных направлениях с погрешностью не более 5 мм и вычислить среднее арифметическое значение. Результат внести в таблицу.

9. Если диаметр расплыва теста не соответствует (180 ± 5) мм, испытание следует повторить с другим количеством воды. Результаты внести в таблицу.

10. По достижении требуемого результата необходимо сделать вывод о фактической водопотребности гипсового вяжущего.

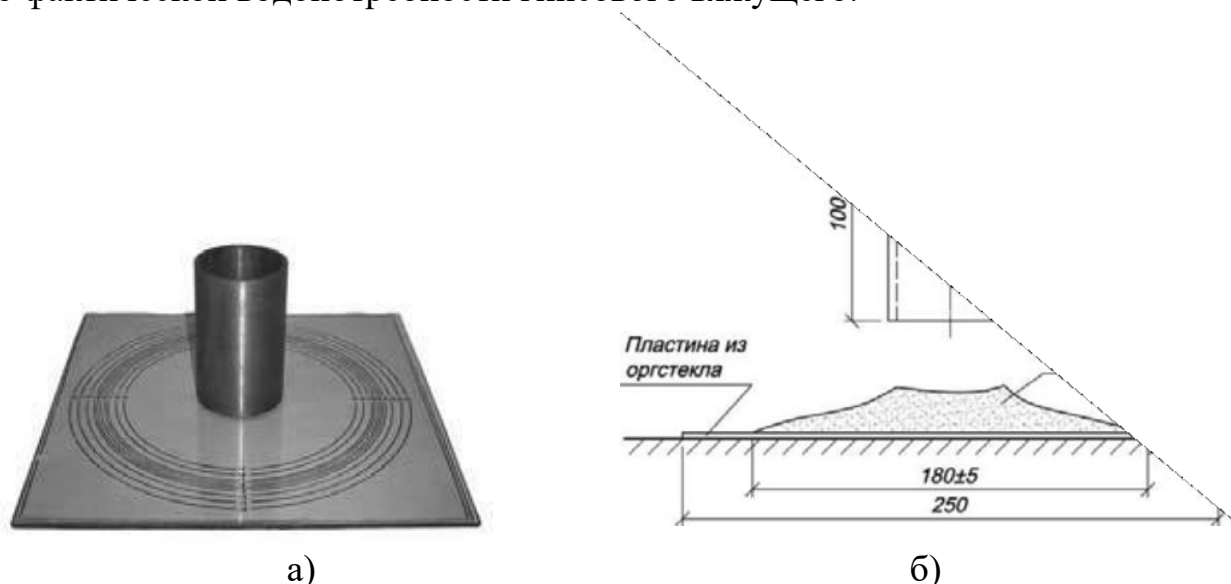


Рисунок 4.1 – Определение стандартной консистенции гипсового теста:

а) вискозиметр Суттарда; б) схема испытания

Задание 2. Определение водопотребности гипса

Методика: погружение иглы прибора Вика в гипсовое тесто стандартной консистенции.

Оборудование: чаша, ручная мешалка, пластина из стекла или оргстекла размером 100×100 мм, прибор Вика с массой подвижной части (300 ± 2) г, коническое кольцо, секундомер, весы, мерный цилиндр.

Ход выполнения работы

Для определения сроков схватывания гипса готовят гипсовое тесто стандартной консистенции (см. задание 1), затем:

1. Установить иглу в стержень прибора Вика (рис. 4.2). Проверить, свободно ли опускается стержень, а также нулевое положение подвижной части (при соприкосновении иглы со стеклянной пластинкой стрелка прибора должна указывать на «0»). В противном случае, скорректировать положение шкалы.
2. Изобразить схему испытания (рис. 4.3. а).
3. Кольцо прибора Вика и стеклянную пластинку смазать машинным маслом.
4. Отвесить 300 г гипсового вяжущего.
5. При помощи мерного цилиндра отмерить количество воды, определенное в задании 1.
6. Гипс всыпать в воду, одновременно включая секундомер, и перемешать в течение не более 1 мин до получения однородного теста.
7. Кольцо, установленное на пластинку, заполнить гипсовым тестом. Кольцо с пластинкой 4–5 раз встряхнуть путем поднятия и опускания одной из сторон пластинки примерно на 10 мм. После этого излишки теста срезать ножом, и заполненную форму на пластинке установить на основание прибора Вика.
8. Подвижный стержень установить в такое положение, при котором конец иглы касается поверхности гипсового теста, а затем иглу свободно опустить в тесто, освободив стопорный винт. Погружение иглы производить каждые 30 с, начиная с целого числа минут (обычно 2 мин). После каждого погружения необходимо тщательно вытирать иглу, а пластинку вместе с кольцом передвигать так, чтобы игла при новом погружении попадала в другое место поверхности теста. Результаты измерений заносить в таблицу.

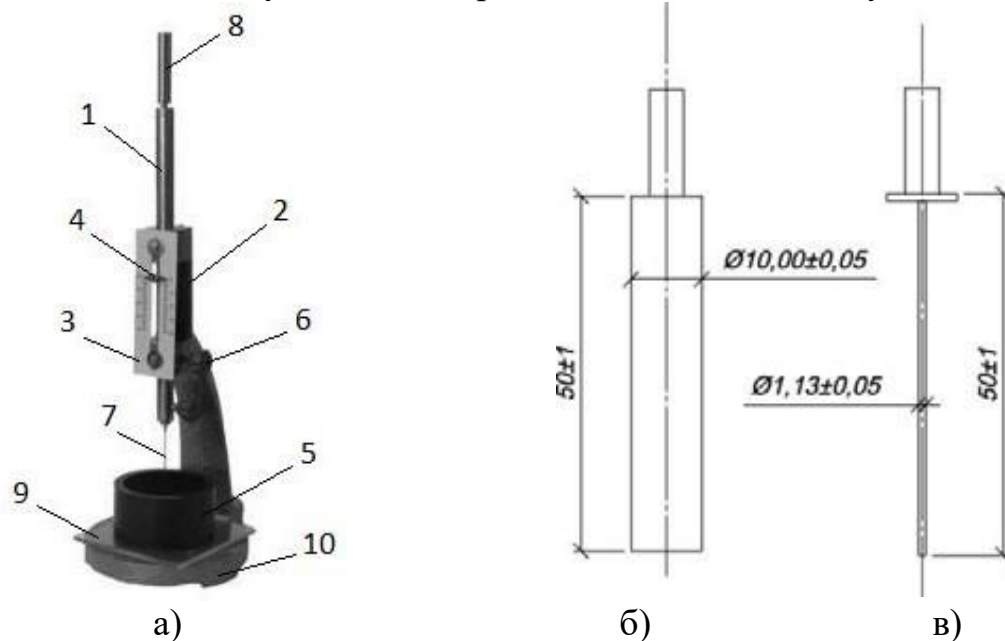


Рисунок 4.2 – Прибор Вика

а) общий вид; б) рабочая часть пестика; в) рабочая часть иглы.

- 1 – цилиндрический металлический стержень; 2 – обойма станины;
- 3 – шкала; 4 – указатель; 5 – кольцо; 6 – стопорный винт; 7 – игла;
- 8 – пестик; 9 – пластинка; 10 – основание станины.

9. По результатам опыта определить начало и конец схватывания.

Начало схватывания – время с момента затворения гипса до того момента, когда игла прибора Вика после погружения в гипсовое тесто впервые не дойдет до поверхности пластинки.

Конец схватывания – время с момента затворения гипса до того момента, когда игла прибора Вика впервые погрузится в гипсовое тесто не более, чем на 1 мм.

10. Построить график зависимости глубины погружения иглы прибора Вика в гипсовое тесто от времени (рис. 4.3 б).

11. Сделать заключение о принадлежности испытанного гипса к одной из трех групп гипсовых вяжущих по срокам схватывания.

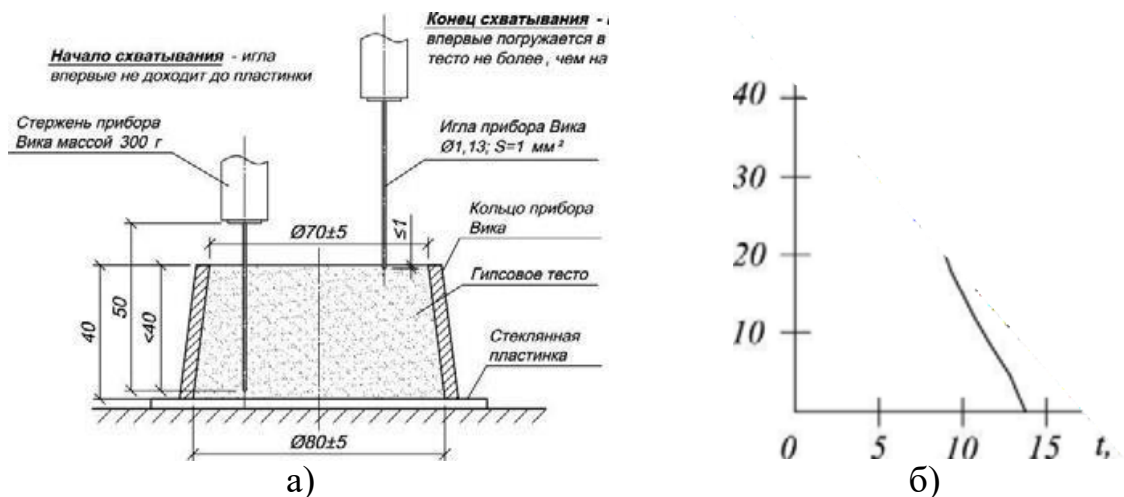


Рисунок 4.3 – Определение сроков схватывания гипсового теста
а) – схема испытания; б) – вид графика изменения глубины погружения иглы прибора Вика в гипсовое тесто при его схватывании

Контрольные вопросы

1. Что такое неорганические вяжущие вещества?
2. Каким образом классифицируются неорганические вяжущие вещества? Дать характеристику отдельных групп.
3. Как производят воздушную известь? Какие существуют виды воздушной строительной извести? Каковы области применения воздушной извести?
4. Каковы основные показатели качества воздушной строительной извести?
5. В результате каких процессов происходит твердение гашёной и негашёной воздушной извести?
6. Как производят гипсовые вяжущие вещества? Какие существуют

разновидности гипсовых вяжущих веществ? Каковы области применения гипсовых вяжущих?

7. Что такое реакция гидратации? Напишите уравнение реакции гидратации строительного гипса.

8. Каковы основные показатели качества гипсовых вяжущих веществ? Что означает марка гипса Г–10 А II ?

9. Как определить стандартную консистенцию гипсового теста?

10. Как определить сроки схватывания гипса?

11. Как определить марку гипсового вяжущего по прочности?

Рекомендуемая литература

5. Рыбьев, И.А. Строительное материаловедение [Текст]: учебное пособие для бакалавров/ И.А.Рыбьев. – 4-е изд. – М.: Издательство Юрайт, 2012. – 701 с. – Серия: Бакалавр – ISBN 978-5-9916-9

6. Строительные материалы [Текст]: учебник для студ. учреждений высш. Проф. образования / Л.А. Алимов, В.В. Воронин. –М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 320 с. – ISBN: 978-5-7695-8336-0

3. Микульский, В. Г. Строительные материалы (Материаловедение. Строительные материалы) [Текст]: учебник/ В. Г. Микульский, Г. И. Горчаков, В. В. Козлов и др.; под ред. В. Г. Микульского и В. В. Козлова. – М. : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2004. – 536 с. – ISBN 5-93093-041-4

4. Попов, К. Н. Строительные материалы и изделия [Текст]: учебник / К.Н. Попов, М.Б. Каддо. – М.: Высшая школа, 2001. – 367 с. – ISBN 5-06-003799-1

5. Фетисов, Г. П. Материаловедение и технология металлов [Текст]: учебник для вузов / Г. П. Фетисов, М. Г. Карпман, В. М. Матюнин и др.; под ред. Г. П. Фетисов – М. : Высшая школа, 2000. – 638 с. – ISBN: 5-06-004418-1

5. Невского, В.А. Строительное материаловедение [Текст]: учебное пособие / под общ. ред. В.А.Невского. – Изд. 3-е, доп. и перераб. – Рстов н/Д: Феникс, 2010. – 588 с. – ISBN: 978-5-222-17506-4

6. Ковалев Я.Н. Строительные материалы [Текст]: Лабораторный практикум / Я.Н. Ковалев, Г.С. Галузо, А.Э. Змачинский, Т.А. Чистова; под ред. проф. Я.Н. Ковалев – М. : Издательский центр « НИЦ Инфра-М, Новое знание», 2015. – 633 с. – ISBN: 978-5-16-006406-2

7. Барабанщиков Ю.Г. Строительные материалы и изделия [Текст]: учебник для учреждений сред. Проф. образования/ Ю.Г. Барабанщиков.– 4-е изд.,стер.–М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 416 с. – ISBN: 978-5-7695-9859-3

Раздел 1. Строительные материалы и изделия

Тема 1.3. Минеральные (неорганические) вяжущие материалы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «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 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 Al₂O₃, SiO₂, Fe₂O₃. Образовавшиеся оксиды вступают в химическое взаимодействие с образованием новых минералов 3CaO·Al₂O₃, CaO·Al₂O₃ и частично 2CaO·SiO₂.

При температуре 1100...1250°C происходят твердофазовые реакции образования минералов 3CaO·Al₂O₃, 4CaO·Al₂O₃·Fe₂O₃ и 2CaO·SiO₂. Наивысшего значения (1300–1450°C) температура обжига достигает в зоне спекания, где происходит частичное плавление сырья и образуется главный минерал клинкера – алит 3CaO·SiO₂. 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 ₂ O ₃ | 4...8 |
| SiO ₂ | 21...24 | Fe ₂ O ₃ | 2...4 |

В небольших количествах в клинкере содержатся MgO, SO₃, Na₂O, K₂O, TiO₂, Cr₂O₃, P₂O₅.

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 (Na₂O и K₂O) 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·SiO₂ (C₃S₁) – 45...60% – основной минерал клинкера, определяет скорость твердения, прочность и другие свойства портландцемента;

Двухкальциевый силикат (белит) – 2CaO·SiO₂ (C₂S) – 20...30% – медленно твердеет, но достигает высокой прочности при длительных сроках твердения;

Трехкальциевый алюминат 3CaO·Al₂O₃ (C₃A) – 4...12% – быстро гидратируется и твердеет, но конечная прочность его небольшая; является причиной сульфатной коррозии цементного камня;

Четырехкальциевый алюмоферрит 4CaO·Al₂O₃·Fe₂O₃ (C₄AF) – 10...20% – по скорости твердения занимает промежуточное положение между C₃S и C₂S.

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.

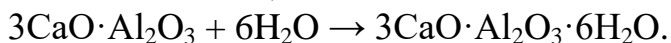
Твердение портландцемента происходит благодаря сложным физико-химическим процессам взаимодействия клинкерных минералов и гипса с водой. Сразу после затворения начинаются химические реакции. В результате физико-химических процессов на поверхности твёрдых частиц и в жидкой фазе формируются продукты гидратации 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 C_3A , 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 | ГОСТ 10178–85 | ГОСТ 30515–2013 ГОСТ 31108–2003 |
| Методы испытаний | ГОСТ 310.1 – ГОСТ 310.6 | ГОСТ 30744–2001 |

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

| № п/п | Виды цементов (по «старым» стандартам) | = | Типы цементов (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%) – <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 цементов 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) – SO₃, хлор-иона (Cl⁻), 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/м³.

Насыпная плотность в рыхлом состоянии – 900...1100 кг/м³, в уплотненном состоянии – 1400...1700 кг/м³, в среднем для расчетов принимают насыпную плотность 1300 кг/м³.

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 $S_{уд}=2500\dots3000 \text{ см}^2/\text{г}$ (или $250\dots300 \text{ м}^2/\text{кг}$). 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 ²): 300; 400; 500; 550; 600. | Установлены классы по прочности (МПа): 22,5Н; 32,5Н; 32,5Б; 42,5Н; 42,5Б; 52,5Н; 52,5Б |
| Вещественный состав | См. табл. 5.3. | См. табл. 5.4.-5.5. |
| Сроки схватывания: начало, мин, не ранее конец, ч, не позднее | 45 | 45, 60, 75 в зависимости от класса прочности цемента (см. табл. 4.7) |
| | 10 | Не нормируется |
| Тонкость помола | При просеивании пробы через сито № 008 должно проходить не менее 85 % массы пробы | Не нормируется |
| Равномерность изменения объема | Визуальная оценка по результатам кипячения в течение 3-х часов лепешек, изготовленных из цементного теста нормальной густоты | Инструментальная оценка при помощи колец Ле-Шателье (расхождение индикаторных игл не более 10 мм) |
| Массовая доля SO ₃ , % | Не менее 1,0...1,5 , не более 3,5...4,0 в зависимости от марки и вида цемента | Не более 3,5...4,0 в зависимости от класса цемента |
| Массовая доля MgO, % | Не более 5 | Не более 5 |
| Содержание хлор-иона Cl ⁻ , % | 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/см². 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 портландцемента | Предел прочности, МПа (кгс/см ²), в возрасте 28 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 цементов 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 цементов любого класса в обязательном порядке должна быть обеспечена прочность в промежуточном возрасте (2 или 7 суток).

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

| Класс прочности цемента | Предел прочности на сжатие, МПа, в возрасте | | | | Начало схватывания, мин. Не ранее |
|-------------------------------|--|--------------------|----------|----------|--|
| | 2 сут, не менее | 7 сут, 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 | – | | | 42,5 |
| 42,5Н | 10 | – | 52,5 | | |
| 42,5Б | 20 | – | | | |
| 52,5Н | 20 | – | | | |
| 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 по ГОСТ 31108-2003 | 22,5 | 32,5 | 42,5 | 52,5 |
| Марка цемента 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 5 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

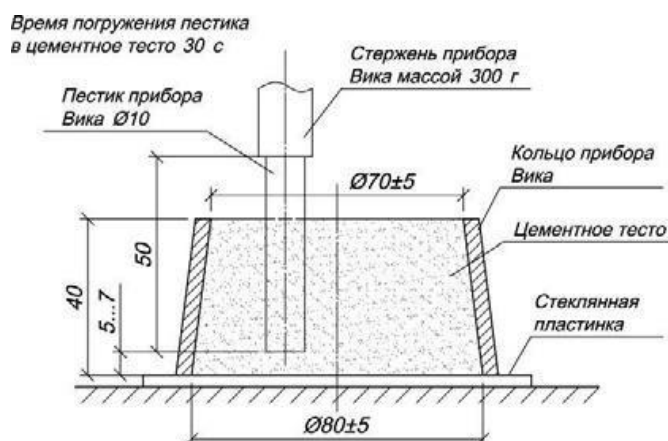


Рисунок 5.2 – Схема определения нормальной густоты цементного теста

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 мм².

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.

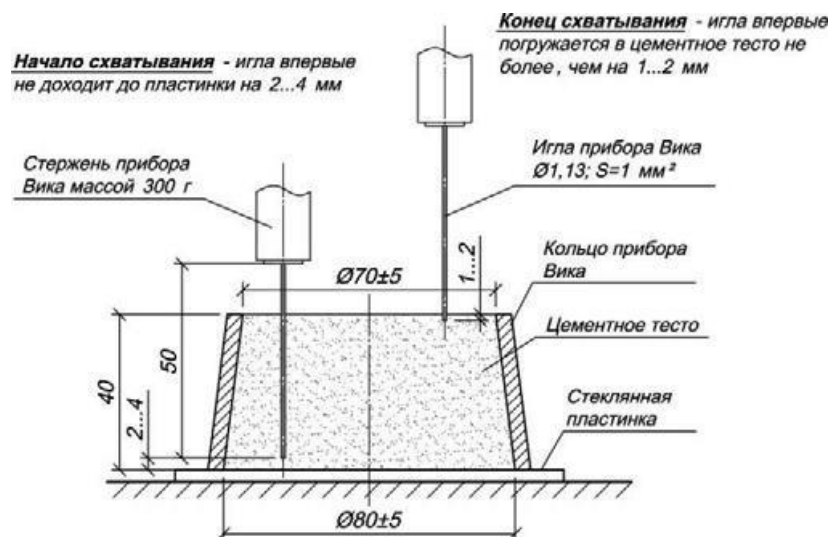


Рисунок 5.3 – Схема определения сроков схватывания цементного теста

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

Методика: определение повреждений лепешек, изготовленных из цементного теста нормальной плотности, 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 плотности 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.

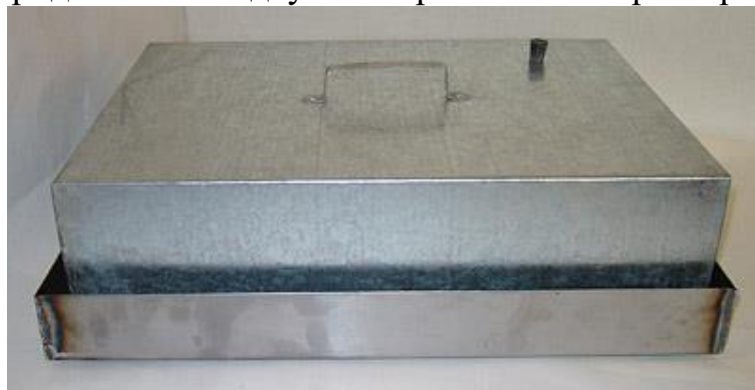


Рисунок 5.4 – Ванна с гидравлическим затвором

Рисунок 5.5 – Бачок для кипячения образцов

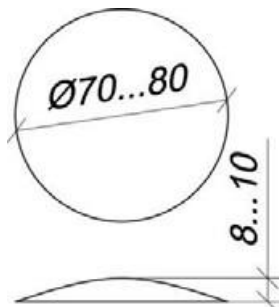
Лепешки на пластине помещают в ванну с гидравлическим затвором (рис. 5.4), где хранят в течение (24 ± 2) ч с момента изготовления. В ванне с гидравлическим затвором поддерживается комнатная температура – $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ и влажность 95...100 %.

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.

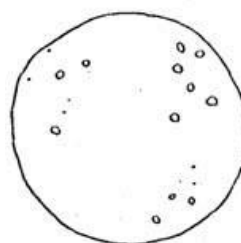
После кипячения лепешки охлаждают в бачке и производят их визуальный осмотр немедленно после извлечения из воды.

Цемент соответствует требованиям стандарта в отношении равномерности изменения объема, если на лицевой стороне лепешек не обнаружено радиальных, доходящих 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 доходящих до краев лепешек.

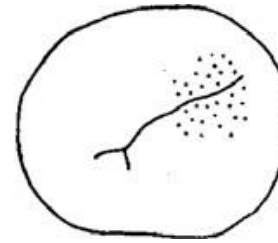
Вид образцов до испытания



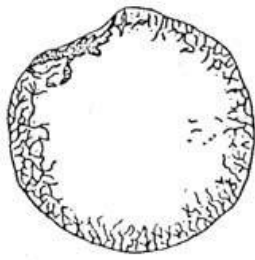
Лепешки, выдержавшие испытание на равномерность изменения объема



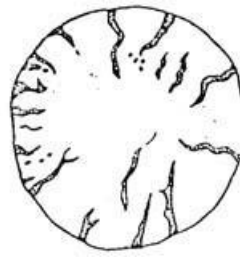
Без повреждений



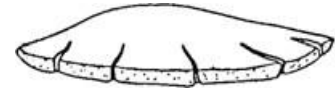
Трещины усыхания



Разрушение



Радиальные 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 плотность 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 чём 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 плотность 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?

Рекомендуемая литература

7. Рыбьев, И.А. Строительное материаловедение [Текст]: учебное пособие для бакалавров/ И.А.Рыбьев. – 4-е изд. – М.: Издательство Юрайт, 2012. – 701 с. – Серия: Бакалавр – ISBN 978-5-9916-9
8. Строительные материалы [Текст]: учебник для студ. учреждений высш. Проф. образования / Л.А. Алимов, В.В. Воронин. –М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 320 с. – ISBN: 978-5-7695-8336-0
3. Микульский, В. Г. Строительные материалы (Материаловедение. Строительные материалы) [Текст]: учебник/ В. Г. Микульский, Г. И. Горчаков, В. В. Козлов и др.; под ред. В. Г. Микульского и В. В. Козлова. – М. : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2004. – 536 с. – ISBN 5-93093-041-4
4. Попов, К. Н. Строительные материалы и изделия [Текст]: учебник / К.Н. Попов, М.Б. Каддо. – М.: Высшая школа, 2001. – 367 с. – ISBN 5-06-003799-1
5. Фетисов, Г. П. Материаловедение и технология металлов [Текст]: учебник для вузов / Г. П. Фетисов, М. Г. Карпман, В. М. Матюнин и др.; под ред. Г. П. Фетисов – М. : Высшая школа, 2000. – 638 с. – ISBN: 5-06-004418-1
5. Невского, В.А. Строительное материаловедение [Текст]: учебное пособие / под общ. ред. В.А.Невского. – Изд. 3-е, доп. и перераб. – Рстов н/Д: Феникс, 2010. – 588 с. – ISBN: 978-5-222-17506-4
6. Ковалев Я.Н. Строительные материалы [Текст]: Лабораторный практикум / Я.Н. Ковалев, Г.С. Галузо, А.Э. Змачинский, Т.А. Чистова; под ред. проф. Я.Н. Ковалев – М. : Издательский центр « НИЦ Инфра-М, Новое знание», 2015. – 633 с. – ISBN: 978-5-16-006406-2
7. Барабанщиков Ю.Г. Строительные материалы и изделия [Текст]: учебник для учреждений сред. Проф. образования/ Ю.Г. Барабанщиков.– 4-е изд.,стер.–М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 416 с. – ISBN: 978-5-7695-9859-3

Раздел 1. Строительные материалы и изделия

Тема 1.3. Минеральные (неорганические) вяжущие материалы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «Определение активности портландцемента и марки»

Цель работы: Ознакомиться с методикой испытания прочности портландцемента по [ГОСТ 310.4-81](#) активности и марки портландцемента.

Теоретическая часть

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/см². Для той или иной марки необходимо обеспечить минимальную прочность при изгибе и при сжатии (табл. 5.6).

ГОСТ 31108–2003 предусматривает деление цементов 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 цементов любого класса в обязательном порядке должна быть обеспечена прочность в промежуточном возрасте (2 или 7 суток).

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).

Методика и порядок выполнения лабораторной работы 6 Определение активности и марки портландцемента

Задание: Изготовить стандартные образцы–балочки размером 4×4×16 см. из портландцемента, определить их предел прочности при изгибе и сжатии,

определить активность и марку портландцемента.

Цель: ознакомиться с понятиями *стандартная консистенция ЦПР(цементно-песчаного раствора)*, *активность и марка портландцемента*, научиться изготавливать образцы строительных материалов для испытаний на сжатие и изгиб.

Задание 1. Ознакомиться с методикой определения стандартной консистенции цементно-песчаного раствора по ГОСТ 310.4–81

Методика: определение диаметра расплыва конуса из цементно-песчаного раствора на встряхивающем столике.

Оборудование: сферическая чаша и лопатка (или растворосмеситель), встряхивающий столик, форма-конус с насадкой, штыковка, весы, мерный цилиндр, штангенциркуль, секундомер.

Ход выполнения работы

Для определения стандартной консистенции цементно-песчаного раствора отвешивают 500 г цемента, 1500 г стандартного монофракционного песка (соотношение по массе цемент : песок = 1 : 3), и, в первом приближении, 200 г воды ($V/C=0,4$). Песок и цемент высыпают в предварительно протертую мокрой тканью сферическую чашу и перемешивают лопаткой в течение 1 мин. Затем в центре сухой смеси делают лунку, вливают в нее воду, дают воде впитаться в течение 0,5 мин и тщательно перемешивают смесь в течение 5 мин. Возможно использование растворосмесителя.

Форму-конус с насадкой устанавливают в центр диска встряхивающего столика (рис. 6.1, 6.2). Внутреннюю поверхность конуса и диск столика перед испытанием протирают влажной тканью.

Форму-конус заполняют раствором на половину высоты и уплотняют 15-ю штыкованиями металлической штыковкой диаметром 20 мм и массой около 400 г. Затем наполняют конус раствором с небольшим избытком и штыкуют еще 10 раз.

После уплотнения верхнего слоя снимают насадку, избыток раствора удаляют ножом, протертым влажной тканью, расположенным под небольшим углом к торцевой поверхности конуса, заглаживая с нажимом раствор вровень с краями конуса, затем конус снимают вертикально вверх.

Полученный растворный конус встряхивают на столике 30 раз за (30 ± 5) с. Высота подъема подвижной части столика составляет $(10\pm 0,5)$ мм. После этого штангенциркулем измеряют диаметр конуса по нижнему основанию в двух взаимно перпендикулярных направлениях и рассчитывают среднее значение. Расплыв конуса должен быть в пределах 106...115 мм. Если результат окажется вне указанных пределов, количество воды необходимо скорректировать и повторить испытание.

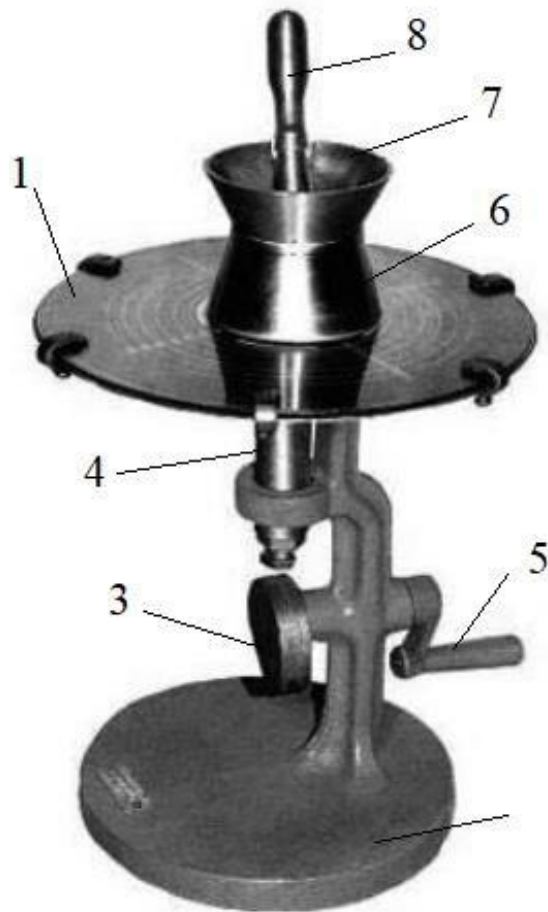


Таблица 6.1 – Встряхивающий столик:
 1 – диск; 2 – станина; 3 – кулачок;
 4 – шток; 5 – рукоятка; 6 – форма-конус;
 7 – насадка на форму; 8 – штыковка.

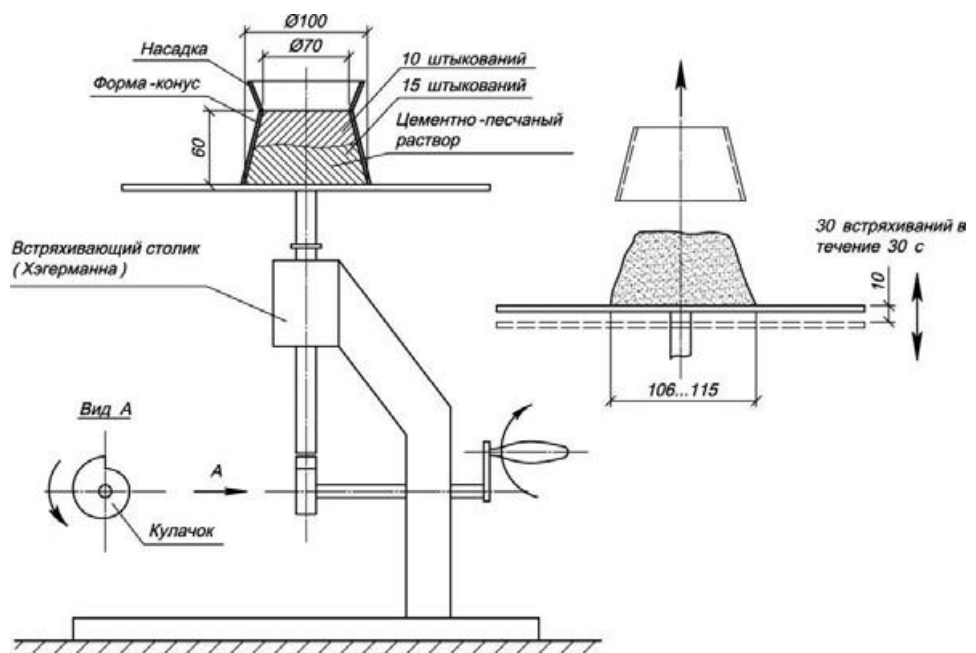


Рисунок 6.2 – Схема определения распыла конуса из цементно-песчаного раствора на встряхивающем столике

Задание 2. Ознакомиться с методикой изготовления стандартных образцов для определения активности цемента по ГОСТ 310.4–81

Методика: формование образцов из цементно-песчаного раствора стандартной консистенции.

Оборудование: сферическая чаша и лопатка (или растворосмеситель), трехгнездовая форма для изготовления образцов-балочек размером 4×4×16 см, насадка к форме, лабораторная виброплощадка, ванна с гидравлическим затвором, весы, мерный цилиндр, секундомер.

Ход выполнения работы

Перед изготовлением образцов форму (рис. 6.3) слегка смазывают машинным маслом. На собранную форму устанавливают насадку. В одной форме изготавливают 3 образца размером 4×4×16 см.

Приготовленный цементно-песчаный раствор стандартной консистенции используют для изготовления образцов. Форму с насадкой закрепляют в центре виброплощадки (рис. 6.4). Виброплощадка имеет вертикальные колебания с амплитудой (0,35±0,03) мм и частотой 50 Гц (рис. 6.5).

Форму наполняют приблизительно на 1 см по высоте раствором и включают виброплощадку.



Рисунок 6.3 – Трехгнездовая форма для изготовления образцов-балочек размером 4×4×16 см

В течение первых 2 мин вибрации все три гнезда формы равномерно небольшими порциями заполняют раствором. По истечении 3 мин. от начала вибрации виброплощадку отключают. Форму снимают с виброплощадки, снимают насадку, избыток раствора удаляют ножом, заглаживая раствор вровень с краями формы. Образцы маркируют.

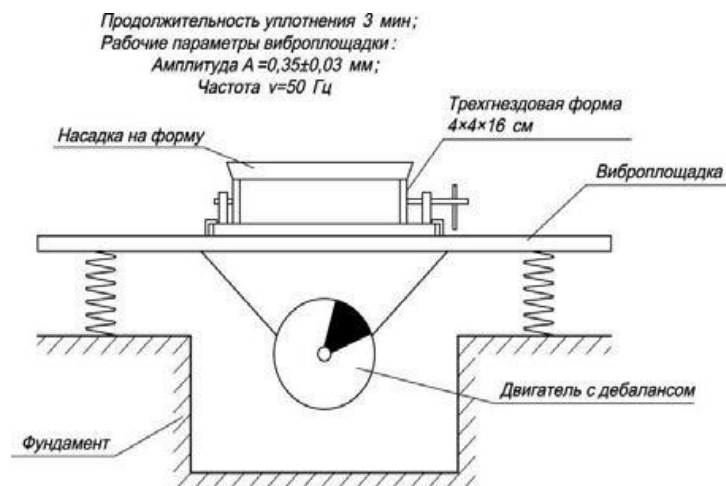


Рисунок 6.5 – Схема уплотнения цементного раствора в формах

Условия хранения образцов до испытания. После изготовления образцы в формах хранят (24 ± 1) ч в ванне с гидравлическим затвором (рис. 6.6) или в шкафу, обеспечивающую относительную влажность воздуха не менее 90% и температуру $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$.

Через сутки образцы распалубливают и укладывают их на 27 суток в ванны с водой с температурой $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$.

В возрасте 28 суток с момента изготовления образцы вынимают из воды и подвергают испытанию на изгиб и сжатие.

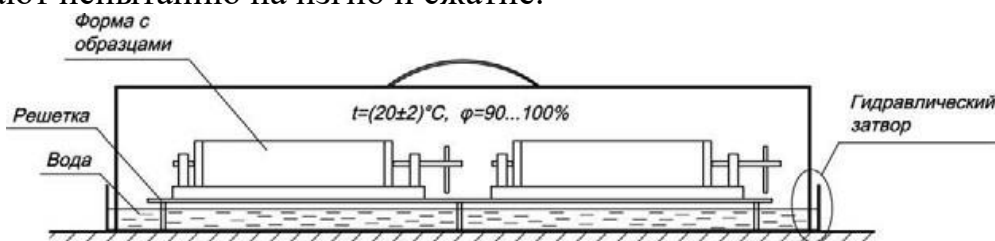


Рисунок 6.6 – Схема хранения образцов в ванне с гидравлическим затвором

Задание 3. Ознакомиться с методикой испытания стандартных цементных образцов-балочек на изгиб и сжатие по ГОСТ 310.4–81

Методика: испытание образцов-балочек на изгиб, испытание половинок балочек на сжатие.

Оборудование: устройство для испытания образцов-балочек на изгиб, пресс гидравлический, стальные нажимные пластины.

Продолжительность твердения образцов – 28 суток.

Ход выполнения работы

Проведение испытания. По истечении срока хранения образцы вынимают из воды и не позднее, чем через 30 мин подвергают испытанию, предварительно протерев тканью.

Для определения предела прочности при изгибе образец зажимают между тремя роликовыми опорами (рис. 6.7, 6.8). Расстояние (в осях) между

нижними опорами 100 мм; через верхнюю опору передается изгибающее усилие.

Образец устанавливают таким образом, чтобы те его грани, которые были горизонтальными при изготовлении, находились в вертикальном положении. Средняя скорость нарастания нагрузки на образец должна быть $(0,05 \pm 0,01)$ кН/с.

Предел прочности образца при изгибе (МПа) определяют по формуле:

$$R_{\text{и}} = \frac{3 F_p \cdot l}{2 b \cdot h^2} \cdot 10 = 2,344 \cdot F_p;$$

где:

F_P – разрушающая нагрузка, кН

$l = 10$ см – расстояние между опорами;

$b = h = 4$ см – ширина и высота поперечного сечения образца.

Предел прочности при изгибе вычисляют как среднее арифметическое значение из двух наибольших результатов испытания трех образцов.

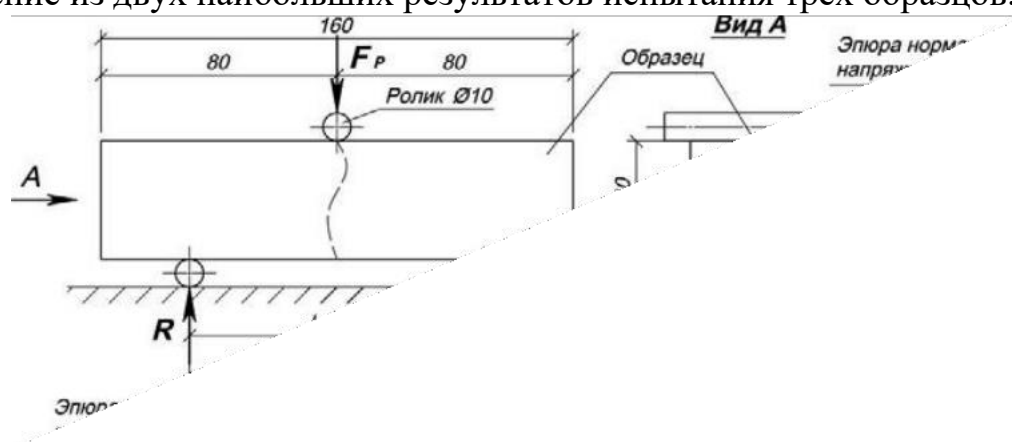


Рисунок 6.7 – Схема испытания образцов-балочек на изгиб

Полученные после испытания на изгиб шесть половинок балочек испытывают на сжатие на гидравлическом прессе. Для того, чтобы результаты испытания половинок балочек были сопоставимы, несмотря на разный размер образующихся при испытании на изгиб образцов, используют стандартные металлические нажимные пластины с площадью 25 см^2 . Через них нагрузка от плит пресса передается на образец. Образцы помещают между двумя пластинами таким образом, чтобы боковые грани, которые при изготовлении прилегали к продольным стенкам форм, находились на плоскостях пластин, а упоры пластин плотно прилегали к торцевой грани образца.

Образец вместе с пластинами подвергают сжатию на прессе (рис. 6.8). Средняя скорость нарастания нагрузки при испытании должна быть $(2,0 \pm 0,5)$ МПа/с.

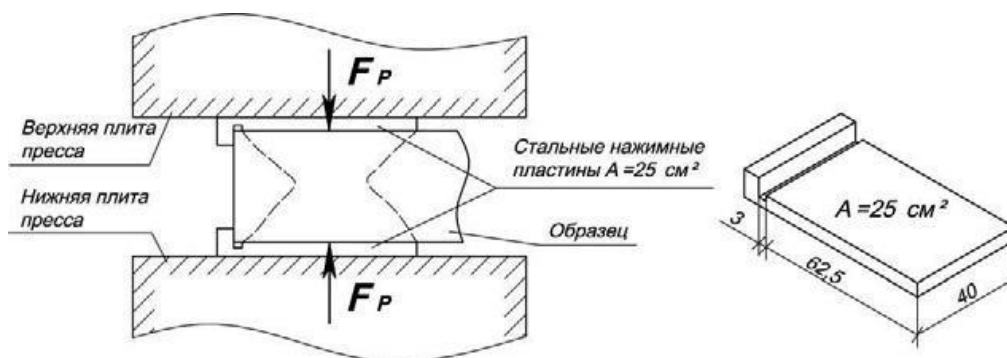


Рисунок 6.8 – Схема испытания половинок образцов-балочек на сжатие

Предел прочности образца на сжатие (МПа) определяют по формуле:

$$R_C = \frac{F_P}{A} \cdot 10;$$

где: F_p – разрушающая нагрузка, кН.
 $A = 25 \text{ см}^2$ – рабочая площадь пластины.

Предел прочности при сжатии вычисляют как среднее арифметическое значение из четырех наибольших результатов испытания шести образцов, определяя *активность цемента* – фактическую прочность на сжатие образцов цементно-песчаного раствора, изготовленных и испытанных в соответствии со стандартом.

На основании полученных результатов устанавливают марку цемента (см. табл. 5.6).

Контрольные вопросы

20. Каким образом получают портландцемент? Какие сырьевые материалы используют при производстве клинкера портландцемента? Какие существуют способы производства портландцементного клинкера? В чём их отличие?

21. Каковы химический и минеральный составы портландцементного клинкера?

22. Напишите уравнения реакций гидратации основных клинкерных минералов. Для чего в состав портландцемента вводится добавка гипса?

23. Назовите основные показатели качества портландцемента.

24. Как определить нормальную плотность цементного теста по ГОСТ 310.3–76?

25. Как определить сроки схватывания портландцемента по ГОСТ 310.3–76? Каковы требования ГОСТ 10178–85 к срокам схватывания портландцемента?

26. Как определить равномерность изменения объёма портландцемента по ГОСТ 310.3–76? В чём состоит причина неравномерного изменения объёма?

27. Как определить активность и марку портландцемента с использованием монофракционного песка по ГОСТ 310.4–81?

28. Каковы основные области применения портландцемента?

29. Назовите и дайте краткую характеристику специальных видов портландцемента.

30. Каким образом получают глинозёмистый цемент? Каков минеральный и химический состав глинозёмистого цемента?

31. Напишите уравнение реакции гидратации основного минерала глинозёмистого цемента. Каковы особенности твердения глинозёмистого цемента при нормальных и повышенных температурах?

32. Назовите основные показатели качества глинозёмистого цемента. В чём состоят особенности свойств глинозёмистого цемента?

33. Приведите рациональные области применения глинозёмистого цемента?

34. Каким образом классифицируются портландцементы по ГОСТ

31108–2003.

35. Как определить нормальную густоту цементного теста по ГОСТ 30744–2001?

36. Как определить сроки схватывания портландцемента по ГОСТ 30744–2001? Каковы требования ГОСТ 31108–2003 к срокам схватывания портландцемента?

37. Как определить равномерность изменения объёма портландцемента по 30744–2001?

38. Как определить активность и класс прочности портландцемента с использованием полифракционного песка по 30744–2001?

Рекомендуемая литература

9. Рыбьев, И.А. Строительное материаловедение [Текст]: учебное пособие для бакалавров/ И.А.Рыбьев. – 4-е изд. – М.: Издательство Юрайт, 2012. – 701 с. – Серия: Бакалавр – ISBN 978-5-9916-9

10. Строительные материалы [Текст]: учебник для студ. учреждений высш. Проф. образования / Л.А. Алимов, В.В. Воронин. – М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 320 с. – ISBN: 978-5-7695-8336-0

3. Микульский, В. Г. Строительные материалы (Материаловедение. Строительные материалы) [Текст]: учебник/ В. Г. Микульский, Г. И. Горчаков, В. В. Козлов и др.; под ред. В. Г. Микульского и В. В. Козлова. – М. : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2004. – 536 с. – ISBN 5-93093-041-4

4. Попов, К. Н. Строительные материалы и изделия [Текст]: учебник / К.Н. Попов, М.Б. Каддо. – М.: Высшая школа, 2001. – 367 с. – ISBN 5-06-003799-1

5. Фетисов, Г. П. материаловедение и технология металлов [Текст]: учебник для вузов / Г. П. Фетисов, М. Г. Карпман, В. М. Матюнин и др.; под ред. Г. П. Фетисов – М. : Высшая школа, 2000. – 638 с. – ISBN: 5-06-004418-1

5. Невского, В.А. Строительное материаловедение [Текст]: учебное пособие / под общ. ред. В.А.Невского. – Изд. 3-е, доп. и перераб. – Рстов н/Д: Феникс, 2010. – 588 с. – ISBN: 978-5-222-17506-4

6. Ковалев Я.Н. Строительные материалы [Текст]: Лабораторный практикум / Я.Н. Ковалев, Г.С. Галузо, А.Э. Змачинский, Т.А. Чистова; под ред. проф. Я.Н. Ковалев – М. : Издательский центр « НИЦ Инфра-М, Новое знание», 2015. – 633 с. – ISBN: 978-5-16-006406-2

7. Барабанщиков Ю.Г. Строительные материалы и изделия [Текст]: учебник для учреждений сред. Проф. образования/ Ю.Г. Барабанщиков.– 4-е изд.,стер.–М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 416 с. – ISBN: 978-5-7695-9859-3

Раздел 1. Строительные материалы и изделия

Тема 1.4. Бетоны и растворы. Железобетон. Металлы и сплавы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «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 потребуются 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 ρ_H крупные заполнители подразделяются на **тяжелые** (свыше 1000 кг/м³) и **легкие** (до 1000 кг/м³);

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 угловатой 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 отделения 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, диабазы, 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 % дробленого 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, легких, 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 мелкозернистого заполнителя

В качестве мелкозернистого 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 обогатительного 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 дробленные пески из отсевов, 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/см³);
- **пористые** (плотность зерен менее 2 г/см³).

Классификационной характеристикой является также насыпная плотность заполнителя, которая для крупных заполнителей не должна превышать 1200 кг/м³, а для пористых песков - 1400 кг/м³.

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/см³, 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 гравию

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>Примечания</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 $0,5(d+D)$ 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. |
| <p>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.</p> | |

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 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 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: - число циклов - 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: - число циклов - 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: Св. 800 Св. 600 до 800 включ. | 1 |
| | 1 |
| Щебень из осадочных горных пород марок: От 600 до 1200 включ. 200, 400 | 2 |
| | 3 |
| Щебень из гравия и гравий марок: 1000 800 600 400 | 1 |
| | 1 |
| | 2 |
| | 3 |

| | |
|--------------------------|---|
| Щебень из валунов марок: | |
| 1200 | 1 |
| 1000 | 1 |
| 800 | 1 |
| 600 | 2 |
| 400 | 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 распада;
- содержание вредных компонентов и примесей;
- обозначение стандарта соответствия ГОСТ.

Кроме того, по требованию потребителя в документе указывают минералого-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, кремень 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, кремень и др.); серу; сульфиды (пирит, марказит, пирротин и др.); сульфаты (гипс, ангидрит и др.); слоистые силикаты (слюды, гидрослюды, 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 отсевов 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/см³ и смеси природных песков и песков из отсевов 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 отсевов 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

| <i>№</i> | <i>Группа песка</i> | <i>Модуль крупности M_k</i> |
|----------|----------------------|--|
| 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

| <i>№</i> | <i>Группа песка</i> | <i>Полный остаток песка на сите N 063</i> |
|----------|----------------------|---|
| 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, крупный и средний | 0,5 | 5 | 5 |
| | 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

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.

2.4. 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 отсева 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:

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

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, размерность | Размеры отверстий сит, мм | | | | | | Проход через 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



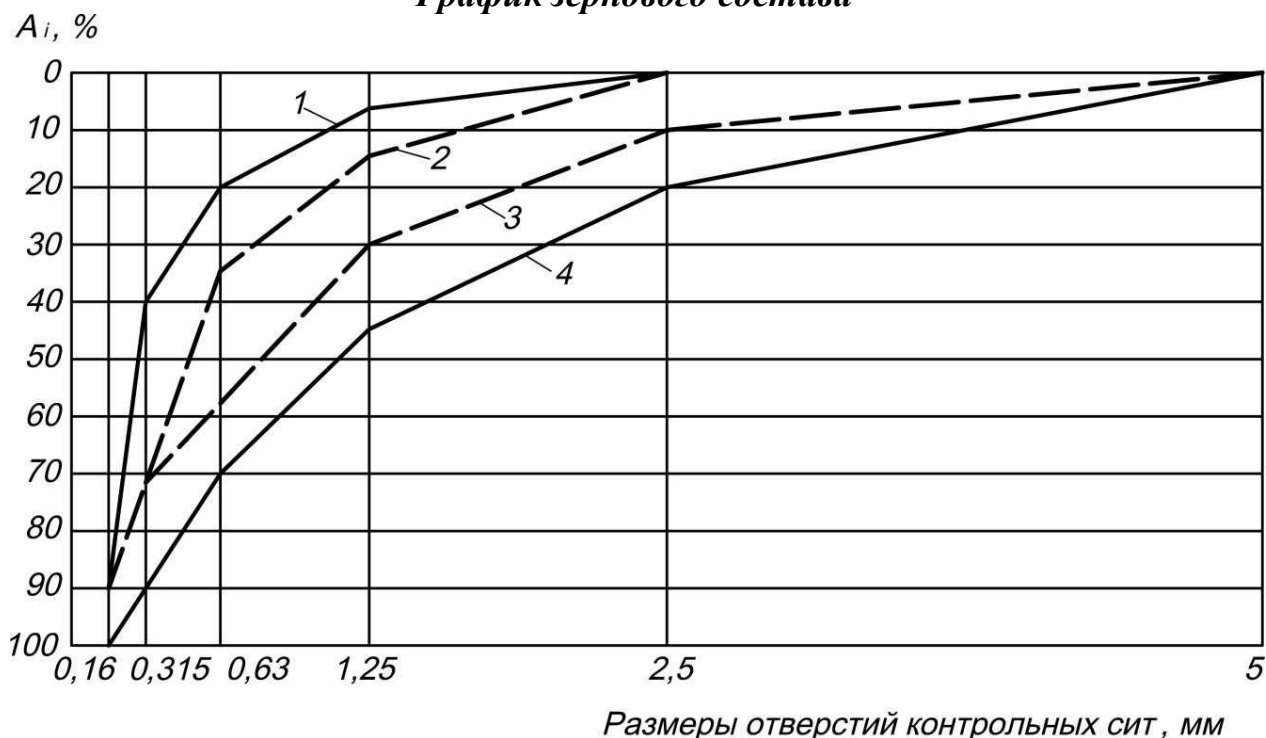
Из таблицы классификация песков по зерновому составу, пригодных для использования в тяжелом бетоне выбираем группу песка и его водопотребность и строим график фактического зернового состава песка.

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

| Группа песка | Модуль крупности | Полный остаток на сите № 0,63, % по массе | Водопотребность песка, % |
|----------------------|------------------|---|--------------------------|
| Повышенной 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/м³ , определяют с точностью до 10 кг/м³ по формуле:

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

где m – масса мерного цилиндра, кг;

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

V – объем мерного цилиндра, м³.

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

За результат принимают среднеарифметическое значение двух параллельных испытаний.

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

Пустотность щебня (гравия) V_{Π} , % по объему, определяют по формуле

$$V_{\Pi} = \left(1 - \frac{\rho_{\text{Н}}}{\rho_{\text{К}} * 1000}\right) * 100$$

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 дм³ (диаметр и высота 108 мм) и вместимостью 10 дм³ (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 дм³, 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 дм³. 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 (ρ_H) в кг/м³ вычисляют по формуле:

$$\rho_H = \frac{m_1 - m}{V} \cdot 100$$

где m – масса мерного сосуда, г.

m_1 – масса мерного сосуда с песком, г.

V – вместимость сосуда, м³.

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.

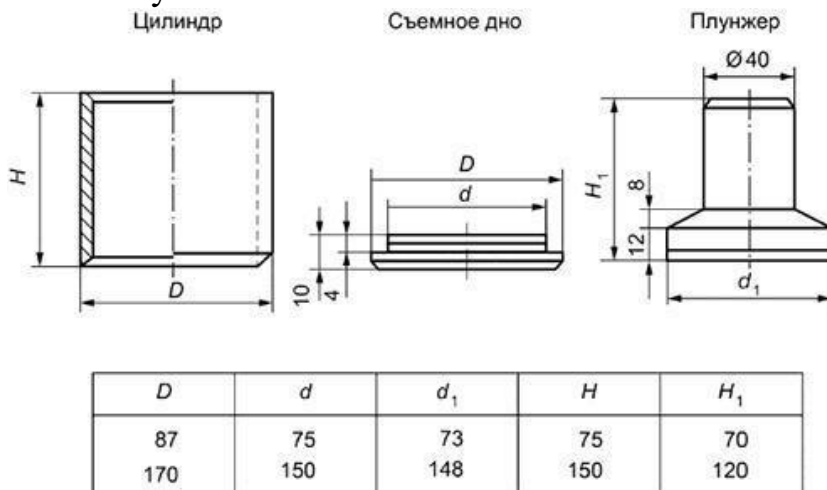


Рисунок 7.1 – Цилиндры стальные

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:

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

Р *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?

Рекомендуемая литература

9. Рыбьев, И.А. Строительное материаловедение [Текст]: учебное пособие для бакалавров/ И.А.Рыбьев. – 4-е изд. – М.: Издательство Юрайт, 2012. – 701 с. – Серия: Бакалавр – ISBN 978-5-9916-9
10. Строительные материалы [Текст]: учебник для студ. учреждений высш. Проф. образования / Л.А. Алимов, В.В. Воронин. –М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 320 с. – ISBN: 978-5-7695-8336-0
11. Микульский, В. Г. Строительные материалы (Материаловедение. Строительные материалы) [Текст]: учебник/ В. Г. Микульский, Г. И. Горчаков, В. В. Козлов и др.; под ред. В. Г. Микульского и В. В. Козлова. – М. : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2004. – 536 с. – ISBN 5-93093-041-4
12. Попов, К. Н. Строительные материалы и изделия [Текст]: учебник / К.Н. Попов, М.Б. Каддо. – М.: Высшая школа, 2001. – 367 с. – ISBN5-06-003799-1
13. Фетисов, Г. П. Материаловедение и технология металлов [Текст]: учебник для вузов / Г. П. Фетисов, М. Г. Карпман, В. М. Матюнин и др.; под ред. Г. П. Фетисов – М. : Высшая школа, 2000. – 638 с. – ISBN: 5-06-004418-1
14. Невского, В.А. Строительное материаловедение [Текст]: учебное пособие / под общ. ред. В.А.Невского. – Изд. 3-е, доп. и перераб. – Рстов н/Д: Феникс, 2010. – 588 с. – ISBN: 978-5-222-17506-4

15. Ковалев Я.Н. Строительные материалы [Текст]: Лабораторный практикум / Я.Н. Ковалев, Г.С. Галузо, А.Э. Змачинский, Т.А. Чистова; под ред. проф. Я.Н. Ковалев – М. : Издательский центр « НИЦ Инфра-М, Новое знание», 2015. – 633 с. – ISBN: 978-5-16-006406-2

16. Барабанщиков Ю.Г. Строительные материалы и изделия [Текст]: учебник для учреждений сред. Проф. образования/ Ю.Г. Барабанщиков.– 4-е изд., стер.–М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 416 с. – ISBN: 978-5-7695-9859-3

Раздел 1. Строительные материалы и изделия

Тема 1.4. Бетоны и растворы. Железобетон. Металлы и сплавы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «Расчет состава бетонной смеси»

Цель работы: изучение подбора состава бетона, чтобы получить бетон требуемой прочности, морозостойкости и долговечности, а бетонную смесь – заданной удобоукладываемости при рациональном (оптимальном) соотношении компонентов.

Теоретическая часть

Подбор состава бетона следует производить в соответствии с требованиями ГОСТ 27006 с целью получения бетона в конструкциях с прочностью и другими показателями качества, установленными государственными стандартами, техническими условиями или проектной документацией на эти конструкции, при минимальном расходе цемента или другого вяжущего.

Подбор состава бетона обычно осуществляют методом «абсолютных объемов», в основу которого положено условие, что объем бетона состоит из четырех плотно уложенных компонентов: цемента, воды, мелкого и крупного заполнителя.

В качестве мелкого заполнителя для тяжелого бетона применяют природный и искусственный песок, в качестве крупного заполнителя — щебень или гравий из плотных горных пород. Для затворения бетонной смеси рекомендуется применять питьевую воду. Можно использовать технические оборотные и природные минерализованные воды с допустимым содержанием примесей. Водородный показатель рН воды должен быть не менее 4 и не более 12,5. Допускается не более 10 мг/л органических поверхностно-активных веществ, сахаров, фенолов.

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

Подбор номинального состава бетона производят при организации производства новых видов конструкций, изменении нормируемых показателей качества бетона или бетонной смеси, технологии производства, поставщиков, вида или марок применяемых материалов, а также при разработке и пересмотре производственных норм расхода материалов.

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. При назначении рабочих составов их проверяют в лабораторных или производственных условиях.

В дальнейшем по результатам операционного контроля качества материалов данных партий и получаемой из них бетонной смеси, а также

приемочного контроля качества бетона производят корректировку рабочих составов.

Подбор состава бетона нормального твердения производится расчетно-экспериментальным методом с использованием формул, графиков, таблиц, а также данных об активности цемента, свойствах и качестве заполнителей.

Состав бетона выражается расходом всех составляющих материалов по массе на 1 м³ уложенной и уплотненной бетонной смеси к массе цемента, принимаемой за единицу, т.е. 1:Х:У (цемент : песок : щебень и гравий).

3.1 Порядок решения контрольной работы

1. Рациональные марки цементов для бетона различных классов приведены в таблице 1. Выбор вида цемента для различных условий работы конструкций проводится согласно таблице 2.

Таблица 1 – Рациональные марки цементов для бетонов различных классов

| Класс бетона | B7,5 | B10 | B15 | B20 | B22,5 | B25 | B30 | B35 | B40 | B50 |
|-----------------------------|------|-----|------------|------------|-------|-----|------------|------------|------------|-----|
| Рекомендуемая марка цемента | 300 | 400 | 400 | 400 | 400 | 400 | 500 | 550 | 600 | 600 |
| Допускаемая марка цемента | - | 400 | 300 400 | 300 500 | 500 | 500 | 500 600 | 500 600 | 500 550 | 550 |

Если при выполнении контрольной работы необходимо использовать цемент марки 300, следует учесть, что с такой маркой в настоящее время выпускается только шлакопортландцемент.

Вид цемента назначают с учетом условий работы конструкций. В частности, при нормальных условиях эксплуатации, когда коррозионные воздействия исключены, рекомендуется использовать портландцемент, портландцемент с минеральными добавками, шлакопортландцемент с учётом их фактической цены. При наличии коррозионных воздействий следует применять специальные цементы: сульфатостойкий портландцемент, пуццолановый цемент и др.

Таблица 2 – Выбор вида цемента для различных условий работы конструкций

| Условия работы конструкций | Вид цемента | | | |
|---|----------------|---|---------------------|-----------------------------|
| | портландцемент | портландцемент с минеральными добавками | шлакопортландцемент | Пуццолановый портландцемент |
| Внутри зданий с относительной влажностью воздуха до 60 % | р/р | р | р/р | н |
| Более 60 % | р/р | р | р/р | д |
| На открытом воздухе (при воздействии атмосферных условий) | р/р | р | д | н |

| | | | | |
|--|-----|---|-----|---|
| При воздействии сред, агрессивных по содержанию сульфатов | н/н | н | д/д | р |
| То же при одновременном систематическом попеременном замораживании и оттаивании или увлажнении и высыхании | н/н | н | д/н | н |
| При действии сред, агрессивных по содержанию сульфатов, при необходимости обеспечения пониженного тепловыделения | н/н | д | р/р | р |
| В подземных и гидротехнических сооружениях | д/н | д | д/н | р |
| В зоне попеременного воздействия воды и мороза (облицовки каналов, гидросооружений, открытых емкостей) | д/н | н | н/н | н |

Примечания: 1. В знаменателе приведены данные для быстротвердеющего портландцемента и шлакопортландцемента. 2. В таблице даны следующие обозначения: р – рекомендуется; д – допускается; н – не допускается.

Истинную и насыпную плотность цемента можно принимать в пределах, указанных в таблице 3.

Таблица 3 – Истинная и насыпная плотности цементов

| Вид цемента | Истинная плотность, г/см ³ | Насыпная плотность, г/см ³ |
|---|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Портландцемент | 3,0-3,3 | 1,0-1,4 |
| Портландцемент с минеральными добавками | 2,8-3,1 | 0,9-1,2 |
| Шлакопортландцемент | 2,7-3,0 | 0,9-1,2 |
| Пуццолановый цемент | 2,7-2,9 | 0,8-1,1 |

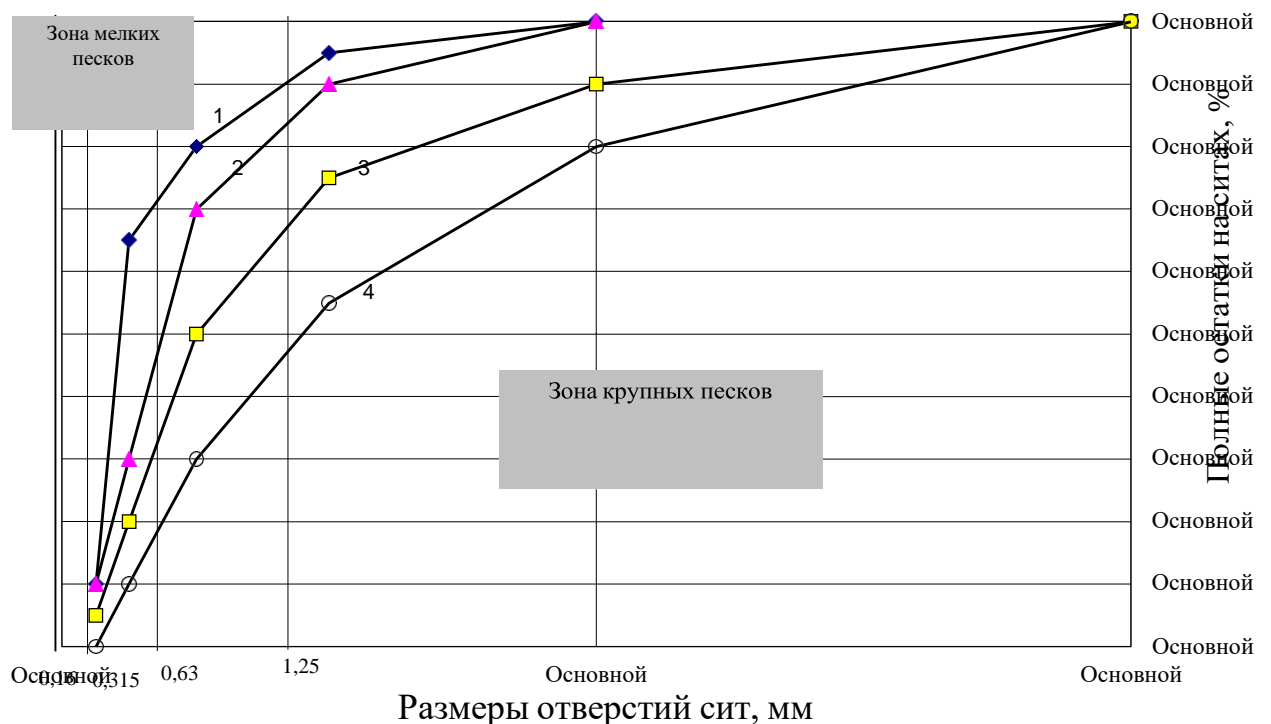
2. В качестве крупного заполнителя для бетона применяют щебень или гравий. Область применения при производстве бетона существенно зависит от крупности наибольших зерен. Для массивных сооружений (массивные подпорные стенки, плотины, монолитные фундаменты) размер зерен не нормируется. В армированных конструкциях d (где d и D - наименьшие и наибольшие номинальные размеры зерен) должен быть не больше $\frac{3}{4}$ наименьшего расстояния между стержнями и не более $\frac{1}{3}$ наименьшего размера бетонируемой конструкции. Для сборных железобетонных конструкций крупность щебня устанавливается по таблице 4.

Таблица 4 – Наибольшая крупность щебня (гравия) применяемого при производстве сборных железобетонных конструкций

| Вид конструкций | Предельная крупность зерен гравия (щебня) (d), мм |
|---|---|
| Ребристые конструкции, многопустотные панели, элементы тонкостенных оболочек, балки и другие изделия с размерами ребер, стенок полок до 25 мм или с многорядной арматурой | 10 |
| То же, армированные с наименьшими размерами ребер, стенок, полок, от 25 до 80 мм, с расстоянием между стержнями арматуры более 15 мм. | 20 |
| Крупноразмерные изделия (колонны, балки, ригели, фундаментные плиты, блоки и др.) с расстоянием между стержнями арматуры более 30 мм | 40 |

Для оценки качества заполнителей в контрольной работе необходимо определить соответствие их зернового состава требованиям стандартов, а также вычислить модуль крупности песка и наибольшую крупность гравия или щебня. 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 5.

Для мелкого и крупного заполнителя по данным о частных остатках на ситах находят полные остатки A_i , %, равные сумме частных остатков на



данном сите и на всех ситах с более крупными ячейками. По найденным полным остаткам строят графики зернового состава мелкого и крупного заполнителей, которые сопоставляют с требованиями стандартов (рисунок 1 и 2).

Рисунок 1 – График зернового состава песка в соответствии с ГОСТ 26633-91

1–допускаемая нижняя граница крупности песка ($M_k=1,5$); 2– рекомендуемая нижняя граница крупности песка ($M_k=2,0$) для бетонов класса в15 и выше; 3– рекомендуемая нижняя граница крупности песка ($M_k=2,5$) для бетонов класса в25 и выше; 4– допускаемая верхняя граница крупности песка ($M_k=3,25$) для растворов и бетонов (заштрихованная область–пески, опустимые для использования в растворах и бетонах)

Результаты определения зернового состава и расчета модуля крупности песка заносят в таблицу и изображают графически в виде кривой отсева (как изображено на рисунке 1).

По результатам сравнения делают выводы о соответствии (несоответствии) зернового состава заполнителей стандартным требованиям и указывают, для бетона каких классов может быть рекомендован песок.

Модуль крупности песка вычисляют по формуле:

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

где $A_{2,5}$; $A_{1,25}$; $A_{0,63}$; $A_{0,315}$; $A_{0,16}$ - полные остатки на ситах, %.

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.

Таблица 5 – Зерновой состав фракции заполнителя в соответствии с ГОСТ 8267-93 «Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия»

| 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 |

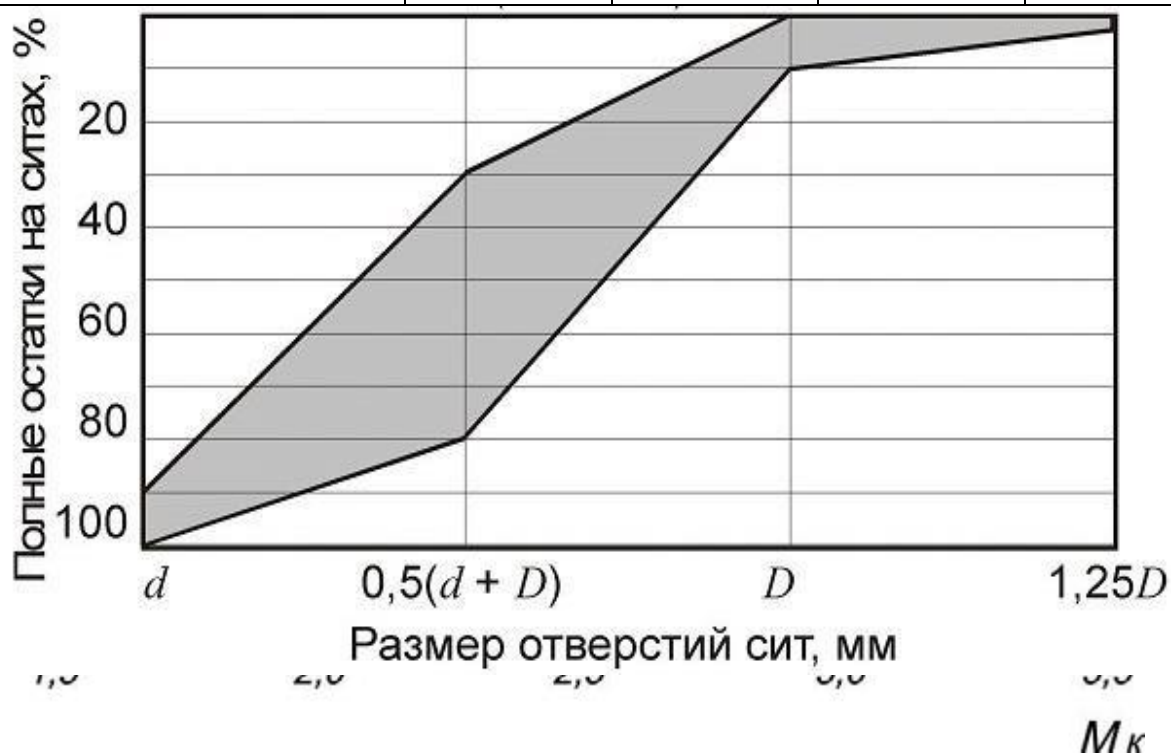


Рисунок 2 – График зернового состава щебня

От модуля крупности песка зависит его водопотребность в бетонной смеси B_n . Значения B_n находят по рисунку 3.

Рисунок 3 – Водопотребность песка в зависимости от модуля крупности

3. Согласно ГОСТ 18105-2010 («Бетоны. Правила контроля и оценки прочности») требуемая прочность бетона (отпускная в промежуточном или проектном возрасте) при нормировании ее по классам (R_m , МПа) определяется по формуле (2):

$$R_T = K_T \cdot B_{\text{норм.}} \quad (2)$$

где $B_{норм}$ – нормируемое значение прочности в МПа для бетона данного класса по прочности на сжатие, или осевое растяжение, или при изгибе (в контрольной работе заданный класс бетона по прочности);

K_m – коэффициент требуемой прочности, принимаемый в зависимости от среднего коэффициента вариации прочности бетона V_n (таблица 6).

Таблица 6 – Значение коэффициента K_m в зависимости от V_n

| V_n , % | менее 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|--------------|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| K_T | 1,07 | 1,08 | 1,09 | 1,11 | 1,14 | 1,18 | 1,23 | 1,28 | 1,33 | 1,38 | 1,43 |

Цементно-водное отношение, необходимое для получения бетона требуемой прочности, определяют из формулы закона прочности бетона (формулы И. Боломея – Б.Г. Скрамтаева), имеющей в общем случае вид:

$$R_{28} = AR_y (C / B \pm 0,5) \quad (3)$$

где R_{28} - прочность бетона при сжатии;

R_u - активность (или марка) цемента (в случае, если неизвестна активность вяжущего, в формулу подставляется его марка);

A - эмпирический коэффициент, зависящий от качества заполнителей, принимаемый по таблице 7.

$$R_{\sigma} = A \cdot R_u \cdot \left(\frac{C}{B} - 0,5 \right) \text{ при } R_{\sigma} \leq 1,2R_u \quad \left(\frac{B}{C} \geq 0,4 \right) \quad (3a)$$

$$R_{\sigma} = A_1 \cdot R_u \cdot \left(\frac{C}{B} + 0,5 \right) \text{ при } R_{\sigma} \geq 1,2R_u \quad \left(\frac{B}{C} < 0,4 \right) \quad (3b)$$

Таблица 7 – Значение коэффициентов A и A_1 в зависимости от качества материалов

| №№ п/п | Характеристики исходных материалов | A при $B/C \geq 0,4$ | A_1 при $B/C \leq 0,4$ |
|-----------|---|---------------------------|-----------------------------|
| 1 | Высококачественные (щебень из плотных пород, заполнители чистые, фракционированные, оптимального зернового состава. Портландцемент высокой активности). | 0,65 | 0,43 |
| 2 | Рядовые (гравий соответствует стандарту, портландцемент средней активности). | 0,6 | 0,4 |
| 3 | Пониженного качества (крупный заполнитель низкой прочности, цемент низкой активности). | 0,55 | 0,37 |

В случае, если при выполнении контрольной работы песок или крупный заполнитель по зерновому составу не удовлетворяют требованиям ГОСТ, отмечаем это и принимаем в расчет коэффициент качества заполнителей $A=0,55$ (заполнители пониженного качества).

Водоцементное отношение (B/C) определяют по формуле (4):

$$\frac{B}{C} = \frac{A \cdot R_u}{R_{\sigma}}, \quad (4)$$

$$Ц = \frac{R_b + 0,5 \cdot A \cdot R_y}{\dots}$$

При определении состава бетона для конструкций, работающих в нормальных условиях эксплуатации, принимают рассчитанное водоцементное отношение, которое обеспечивает заданную прочность бетона. Однако в ряде случаев к конструкциям могут предъявляться дополнительные требования – по морозостойкости, водонепроницаемости, стойкости в агрессивных средах. Введение таких требований необходимо для обеспечения заданной долговечности бетона путем повышения его плотности. Плотность бетона в первом приближении находится в обратной зависимости от водоцементного отношения. Поэтому при расчете состава бетона, работающего в неблагоприятных условиях, следует учитывать ограничения В/Ц по условиям прочности и долговечности.

4. В зависимости от принятой подвижности (или жесткости) бетонной смеси, наибольшего размера зерен крупного заполнителя и его вида определяют ориентировочный расход воды по таблице 8.

Окончательный расход воды B , кг, рассчитывают, вводя поправку на водопотребность песка:

$$B = B_{табл} + (B_n - 5) \times \dots \quad (5)$$

где $B_{табл}$ - расход воды, определяемый по таблице 8;

B_n - водопотребность песка (см. рис. 3).

Формула (5) учитывает изменение расхода воды при использовании песков с водопотребностью, отличающейся от 7% (поправка на расход воды в бетонной смеси составляет 5 кг на каждый процент изменения водопотребности песка).

Расход цемента определяют по формуле (6):

$$Ц = \frac{B}{(B/Ц)}, \quad (6)$$

Таблица 8 – Ориентировочный расход воды на 1 м³ бетонной смеси

| ОК, см | Ж, с | Расход воды, л/м ³ , при крупности, мм | | | | | | | |
|---------|---------|---|-----|-----|-----|-------|-----|-----|-----|
| | | гравия | | | | щебня | | | |
| | | 10 | 20 | 40 | 80 | 10 | 20 | 40 | 80 |
| - | 40...50 | 150 | 135 | 125 | 120 | 160 | 150 | 135 | 130 |
| - | 25...35 | 160 | 145 | 130 | 125 | 170 | 160 | 145 | 140 |
| - | 15...20 | 165 | 150 | 135 | 130 | 175 | 165 | 150 | 145 |
| - | 10...15 | 175 | 160 | 145 | 140 | 185 | 175 | 160 | 155 |
| 2...4 | - | 190 | 175 | 160 | 155 | 200 | 190 | 175 | 170 |
| 5...7 | - | 200 | 185 | 170 | 165 | 210 | 200 | 185 | 180 |
| 8...10 | - | 205 | 190 | 175 | 170 | 215 | 205 | 190 | 185 |
| 10...12 | - | 215 | 205 | 190 | 180 | 225 | 215 | 200 | 190 |
| 12...16 | - | 220 | 210 | 197 | 185 | 230 | 220 | 207 | 195 |
| 16...20 | - | 227 | 218 | 208 | 192 | 237 | 228 | 213 | 202 |

Примечания:

1. Расход воды приведен для смеси на портландцементе с нормальной плотностью цементного теста 26...28 % и на песке с $M_{кр} = 2$. 2. При изменении нормальной плотности цементного теста на каждый процент в меньшую сторону расход воды уменьшается на 3...5 л, в большую сторону – увеличивается на 3...5 л/м³. 3. При изменении модуля крупности песка на каждые 0,5 в меньшую сторону расход воды увеличивается на 3...5 л, в большую сторону – уменьшается на 3...5 л. 4. Табличные данные относятся к бетонной смеси, приготовляемой на песке средней крупности с водопотребностью $W_{п} = 7\%$. 5. В случае применения пуццоланового цемента расход воды увеличивают на 15...20 кг. 6. При расходе цемента свыше 400 кг расход воды увеличивают на 1 кг на каждые 10 кг цемента сверх 400 кг; 7. Если крупный заполнитель поглощает воду, то поглощаемое количество нужно прибавить к полученному количеству воды.

Таблица 9 – Минимальный расход цемента

| Вид конструкции | Условия эксплуатации | Вид и расход цементов, кг/м ³ | | |
|--|------------------------------|--|---------------------|---------------|
| | | ПЦ-Д0, ПЦ-Д5 ССПЦ-Д0 | ПЦ-Д20, ССПЦ-Д20 | ШПЦ, ССШПЦ |
| Неармированные | Без атмосферных воздействий | Не нормируют | | |
| | При атмосферных воздействиях | 150 | 170 | 170 |
| Армированные с ненапрягаемой арматурой | Без атмосферных воздействий | 150 | 170 | 180 |
| | При атмосферных воздействиях | 200 | 220 | 240 |
| Армированные с преднапряженной арматурой | Без атмосферных воздействий | 220 | 240 | 270 |
| | При атмосферных воздействиях | 240 | 270 | 300 |

Необходимо, чтобы этот расход был не ниже минимально допустимого по нормам (табл. 9). Если расход цемента на 1 м³ бетона окажется ниже допустимого, то необходимо увеличить его до требуемой нормы (сохранив прежнее Ц/В).

5. Определение крупного и мелкого заполнителя производится на основе, с одной стороны, получения бетона плотного строения, с другой — обеспечения минимального расхода цемента. Это выражается обеспечением следующих условий:

- вычисляют расход заполнителей исходя из условия, чтобы сумма

абсолютных объёмов всех составляющих материалов бетона была равно 1 м^3 уложенной и уплотнённой бетонной смеси;

- для обеспечения требуемой удобоукладываемости бетонной смеси пустоты между зёрнами крупного заполнителя должны быть заполнены цементно-песчаным раствором с их некоторой раздвижкой.

$$\begin{cases} \frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{В}{\rho_{в}} + \frac{П}{\rho_{п}} + \frac{Щ}{\rho_{щ}} = 1 \\ Ц \quad В \quad П \quad Щ \cdot V \cdot \alpha \\ \frac{\quad}{\rho_{ц}} + \frac{\quad}{\rho_{в}} + \frac{\quad}{\rho_{п}} = \frac{n}{\rho_{нц}} \end{cases} \quad (7)$$

где $Ц, В, П, Щ$ – расходы цемента, воды, песка, крупного заполнителя на 1 м^3 смеси, кг;

$\rho_{ц}, \rho_{в}, \rho_{п}, \rho_{щ}$ – плотность этих материалов, $\text{кг}/\text{м}^3$;
 $\frac{Ц}{\rho_{ц}}; \frac{В}{\rho_{в}}; \frac{П}{\rho_{п}}; \frac{Щ}{\rho_{щ}}$; - их абсолютные объёмы, м^3 .

$\rho_{ц} \rho_{в} \rho_n \rho_{ш}$

V_n — пустотность крупного заполнителя;

$$V_n = 1 - \left(\frac{\rho_{нас.}}{\rho_{ист.}} \right)$$

В случае, если пустотность крупного заполнителя окажется более 45%, необходимо, принять коэффициент качества заполнителей $A=0,55$ и выполнить расчет заново.

$\rho_{нш}$ — насыпная плотность крупного заполнителя, кг/м³;

K_p — Значение коэффициента раздвижки зерен для умеренно жестких бетонных смесей принимается 1,15...1,2, а для жестких бетонных смесей - 1,0...1,1. Для подвижных бетонных смесей значения зависят от расхода цемента и принимаются согласно данным таблицы 10.

Таблица 10 – Значение коэффициента K_p для подвижных смесей

| Расход цемента, кг/м ³ | Коэффициент K_p при В/Ц | | | | |
|-----------------------------------|---------------------------|------|------|------|------|
| | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 |
| 250 | — | — | 1,26 | 1,32 | 1,38 |
| 300 | — | 1,3 | 1,36 | 1,42 | — |
| 350 | 1,32 | 1,38 | 1,44 | — | — |
| 400 | 1,4 | 1,46 | — | — | — |

Расход щебня (гравия) и песка в кг на 1 м³ бетонной смеси вычисляют по формулам:

$$Ш = \frac{1}{\frac{V \cdot K}{\rho_{ш}}}, \text{ кг}; \quad (8)$$

$$+ \frac{n}{\frac{1}{\rho_{ц}} + \frac{1}{\rho_{в}} + \frac{1}{\rho_{ш}} + \frac{1}{\rho_{нш}}}$$

$$П = \left[1 - \left(\frac{Ц}{\rho_{ц}} + \frac{В}{\rho_{в}} + \frac{Ш}{\rho_{ш}} \right) \right] \rho_n, \text{ кг}, \quad (9)$$

На этом заканчивается расчет начального состава бетона. Расходы цемента, воды, крупного и мелкого заполнителей записывают отдельно. При их сложении получают теоретическую среднюю плотность бетонной смеси, выраженную в кг/м³.

6. Состав бетона можно выразить в относительных единицах по массе или объему. В этом случае за единицу принимают массу или объем цемента, выражая количество других компонентов по отношению к цементу.

Состав бетона по массе:

$$\frac{Ц}{\rho_{ц}} : \frac{В}{\rho_{в}} : \frac{П}{\rho_{п}} : \frac{Ш}{\rho_{ш}} = 1 : \frac{В}{\rho_{в}} : \frac{П}{\rho_{п}} : \frac{Ш}{\rho_{ш}}, \quad (10)$$

$$\frac{Ц}{\rho_{ц}} : \frac{В}{\rho_{в}} : \frac{П}{\rho_{п}} : \frac{Ш}{\rho_{ш}}$$

Состав бетона по объему:

$$\frac{V_u}{V_u} : \frac{V_B}{V_u} : \frac{V_{II}}{V_u} : \frac{V_{III}}{V_u} = 1 : \frac{V_B}{V_u} : \frac{V_{II}}{V_u} : \frac{V_{III}}{V_u}, \quad (11)$$

Расход цемента по объему (V_u), м³ определяют по формуле:

$$V_u = \frac{II}{\rho_{нц}}, \quad (12)$$

где $\rho_{нц}$ - насыпная плотность цемента, кг/м³.

7. Номинальный состав бетона определяют на сухих фракционированных заполнителях, причем каждая фракция должна быть чистой, не засоренной другими фракциями. Полученный состав называют лабораторным. В производственных условиях обычно наблюдается увлажнение и взаимное засорение фракций. В этом случае определяют влажность заполнителей, рассчитывают массу воды, содержащейся в заполнителях, и на эту величину уменьшают массу добавляемой в бетонную смесь воды, повышая на эту же величину расход заполнителей. Количественно рабочий состав бетона отличается от лабораторного, но фактически количество воды и сухих компонентов в бетоне остается прежним – как и в лабораторном составе.

8. В производственных условиях необходимо рассчитать количество материалов на 1 замес бетоносмесителя. При этом объем готового бетона будет меньше геометрической емкости смесителя, рассчитанной на рыхлые материалы. Коэффициент выхода бетона из смесителя определяют по формуле:

$$\beta = \frac{1}{V_{ц} + V_{п} + V_{щ}}, \quad (13)$$

где $V_{ц}$, $V_{п}$, $V_{щ}$ - объемы составляющих (цемента, песка, щебня), затраченных на приготовление 1 м³ бетонной смеси, м³, определяемые по формулам

$$V_{ц} = \frac{Ц}{\rho_{цн}}; \quad V_{п} = \frac{П}{\rho_{пн}}; \quad V_{щ} = \frac{Щ}{\rho_{щн}}$$

где Ц, П, Щ - расход сухих материалов на 1 м³ бетонной смеси, кг;

$\rho_{цн}$, $\rho_{пн}$, $\rho_{щн}$ - насыпная плотность сухих (цемента, песка и щебня), кг/м³.

Значение величины коэффициента выхода бетона обычно находится в пределах 0,55...0,75. Коэффициент выхода бетона характеризует степень уменьшения объема полученной бетонной смеси по сравнению с суммой объемов всех составляющих ее. Коэффициент выхода бетона используют при определении расхода составляющих бетона на один замес бетоносмесителя.

Расход материалов на 1 замес бетоносмесителя определяют по формулам:

$$Ц^p = \frac{\beta V}{v} \times Ц^p; \quad П^p = \frac{\beta V}{v} \times П^p; \quad В^p = \frac{\beta V}{v} \times В^p; \quad Щ^p = \frac{\beta V}{v} \times Щ^p \quad (14)$$

где $Ц^p, В^p, П^p, Щ^p$ - расход материалов по рабочему составу на замес бетоносмесителя вместимостью V , кг;

$Ц^p, В^p, П^p, Щ^p$ - расходы цемента, воды, песка и крупного заполнителя

на 1 м³ бетона по рабочему составу, кг.

Объем бетона в замесе определяют по формуле:

$$V_3 = \beta V, \quad (15)$$

9.1 В случае, если на строительство поступает цемент другой марки, отличной от определенной в п. 1, необходимо для обеспечения заданной прочности внести в состав бетона изменения. В первую очередь они касаются расхода цемента, хотя расходы песка и крупного заполнителя также следует корректировать. Здесь могут встретиться два варианта.

Вариант первый: марка цемента превышает наибольшую из указанных в таблице 1 для бетона данного класса. Это вызывает необходимость понизить активность высокомарочного цемента путем тщательного смешивания его с тонкомолотой добавкой-наполнителем (из доменного гранулированного шлака, золы ТЭС, известняка и др.). В противном случае, когда для бетона низких классов используют высокомарочный неразбавленный добавкой цемент, его расход, определенный из условия прочности бетона, может оказаться ниже минимально допускаемого значения, указанного в таблице 9, и придется добавлять дорогостоящий цемент до рекомендуемого минимума с целью обеспечения плотности бетона, что нерационально.

При введении добавки-наполнителя получается смешанное вяжущее, активность которого убывает пропорционально количеству добавки. Содержание добавки в смешанном вяжущем a , доли единицы, определяют по формуле:

$$a = \frac{R_{ц} - R_{см}}{R_{ц}}, \quad (16)$$

где $R_{ц}$ - марка (активность) разбавляемого цемента;

$R_{см}$ - марка (активность) смешанного вяжущего, соответствующая

рекомендуемой марке цемента (по таблице 1).

Вариант второй: марка (класс) цемента ниже рекомендуемой. В этом случае никаких минеральных добавок в цемент вводить не нужно, а расчет ведут обычным порядком, используя новую марку цемента.

9.2 Если возраст бетона отличается от расчетного (28 сут), то для обычного портландцемента средних марок может быть применена формула:

$$R = R \sqrt[lg28]{}, \quad (17)$$

где n – возраст бетона в сутках (n должен быть более 3).

10. Стоимость материалов для изготовления 1 м^3 бетона определяют с использованием цен, приведенных в таблице 11.

Таблица 11 – Стоимость материалов

| Материал | Ед. | Оптовая цена, руб. |
|---|----------------|--------------------|
| Цемент | | |
| Портландцемент ПЦ 600-Д0-Н | т | 4745,76 |
| Портландцемент ПЦ 500-Д0-Н (ЦЕМ I 42,5Н) | т | 4491,53 |
| Портландцемент ПЦ 500-Д20-Н | т | 4406,78 |
| Портландцемент ПЦ 400-Д0-Н | т | 4491,53 |
| Портландцемент ПЦ 400-Д20-Н (ЦЕМ II/A-II 32,5Н) | т | 4322,03 |
| Портландцемент сульфатостойкий ССПЦ 500-Д20 | | 4750,19 |
| Портландцемент сульфатостойкий ССПЦ 400-Д20 | т | 4580,76 |
| Шлакопортландцемент ЦЕМ III 42,5 Н | т | 4100,52 |
| Шлакопортландцемент ЦЕМ III 32,5 Н | т | 3900,87 |
| Шлакопортландцемент ЦЕМ III 22,5 Н | т | 3683,47 |
| Пуццолановый цемент ЦЕМ IV 42,5 Н | т | 4550,05 |
| Пуццолановый цемент ЦЕМ IV 32,5 Н | т | 4375,61 |
| Заполнитель | | |
| Гранитный щебень фракция 5-10 | м ³ | 1250 |
| Гранитный щебень фракция 10-20 | м ³ | 1150 |
| Гранитный щебень фракция 20-40 | м ³ | 1450 |
| Гранитный щебень фракция 40-70 | м ³ | 1100 |
| Смесь фракций 5-20 мм | м ³ | 1560 |
| Смесь фракций 5-40 мм | м ³ | 1200 |
| Смесь фракций 5-70 мм | м ³ | 975 |
| Песок строительный | м ³ | 600 |
| Вода | м ³ | 20 |

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

Расчет состава бетона

Задание: изучить методику подбора состава бетона, чтобы научиться получать бетон требуемой прочности, морозостойкости и долговечности, а бетонную смесь – заданной удобоукладываемости при рациональном (оптимальном) соотношении компонентов.

Цель: ознакомиться с понятием *подбор состава бетона* и методикой подбора состава бетона.

Задание 1. Расчет состава бетона

Методика: изучение метода подбора состава бетона заключается в том, чтобы получить бетон требуемой прочности, морозостойкости и долговечности, а бетонную смесь – заданной удобоукладываемости при рациональном (оптимальном) соотношении компонентов.

Ход выполнения работы

По исходным данным рассчитать состав бетона класса В12,5 при коэффициенте вариации прочности 8,2 %, предназначенного для бетонирования монолитного пола промышленного здания. Условия эксплуатации нормальные. Смесь укладывается с вибрацией. Подвижность бетонной смеси по осадке конуса составляет 16...20 см. Минимальный размер сечения конструкции 800 мм, наименьшее расстояние в свету между стержнями рабочей арматуры 160 мм.

Характеристики заполнителей приведены в таблице 12 и 13.

Таблица 12 – Зерновой состав заполнителей

| Вид заполнителя | Частные остатки, %, на ситах с размером отверстий, мм | | | | | | | | | |
|-----------------|---|----|----|----|----|-----|------|------|-------|------|
| | 70 | 40 | 20 | 10 | 5 | 2,5 | 1,25 | 0,63 | 0,315 | 0,16 |
| Песок | - | - | - | - | - | 7 | 20 | 20 | 30 | 23 |
| Щебень | - | 4 | 40 | 4 | 52 | - | - | - | - | - |

Таблица 13 – Характеристика материалов

| Вид заполнителя | Плотность, кг/м ³ | Насыпная плотность, кг/м ³ | | Влажность по массе, % |
|-----------------|------------------------------|---------------------------------------|----------------------|-----------------------|
| | | В сухом состоянии | Во влажном состоянии | |
| Песок | 2660 | 1723 | 1521 | 2 |
| Щебень | 2850 | 1435 | 1650 | 8 |

1. Вид и марку цемента Поскольку условия эксплуатации нормальные, можно применить (в соответствии с таблицей 2) портландцемент, шлакопортландцемент, портландцемент с минеральными добавками, быстротвердеющий портландцемент. Останавливаем выбор на шлакопортландцементе, характеристики которого назначаем по таблице. 3: истинная плотность 3,1 г/см³, насыпная плотность 1,3 г/см³. Шлакопортландцемент и портландцемент с минеральными добавками, обладая теми же техническими свойствами, что и бездобавочный цемент, имеет по сравнению с последним меньшую стоимость (таблица 11).

Для бетона класса по прочности В12,5 (таблица 1) рекомендует цемент марки 300. Таким образом, для данного бетона будет применяться шлакопортландцемент ЦЕМ III 22,5 Н.

Насыпная плотность $\rho_{нц} = 1,32 / \text{см}^3$

Истинная плотность $\rho_{ц} = 3,12 / \text{см}^3$

2. Соответствие зернового состава песка и крупного заполнителя требованиям стандарта. Модуль крупности и водопотребность песка. Соответствие наибольшей крупности заполнителя размерам сечения и характеру армирования конструкции.

Определяем соответствие зернового состава песка требованиям стандарта – рассчитываем полные остатки на ситах (таблица 14), строим

график зернового состава

Таблица 14 – Зерновой состав песка

| Показатели, размерность | Размеры отверстий на ситах, мм | | | | | |
|----------------------------|--------------------------------|-----|------|------|-------|------|
| | 5 | 2,5 | 1,25 | 0,63 | 0,315 | 0,16 |
| Остатки частные a_i , % | - | 7 | 20 | 20 | 30 | 23 |
| Остатки полные A_i , % | - | 7 | 27 | 47 | 77 | 100 |

Модуль крупности песка:

$$M_k (= A_{2,5} + A_{1,25} + A_{0,63} + A_{0,315} + A_{0,16}) \div 100 = (7 + 27 + 47 + 77 + 100) \div 100 = 2,58$$

По зерновому составу испытанный песок не отвечает требованиям ГОСТа и пригоден для бетона класса В15 и выше.

Водопотребность $B_n = 5,84 \%$.

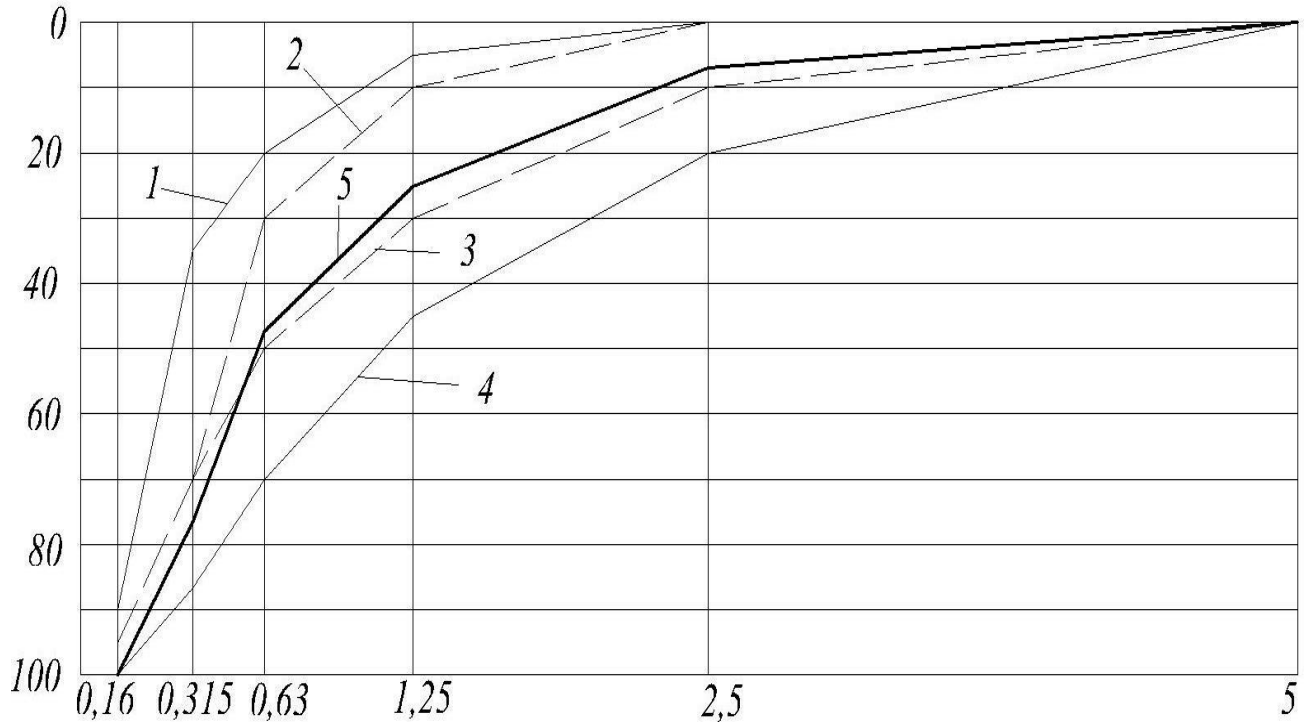


Рисунок 4 – График зернового состава мелкого заполнителя

1–допускаемая нижняя граница крупности песка ($M_k=1,5$); 2– рекомендуемая нижняя граница крупности песка ($M_k=2,0$); 3– рекомендуемая нижняя граница крупности песка ($M_k=2,5$); 4– допускаемая верхняя граница крупности песка ($M_k=3,25$); 5 – график просеивания песка

Определяем соответствие зернового состава крупного заполнителя (в нашем случае – щебня) требованиям стандарта – рассчитываем полные остатки на ситах (таблице 15), устанавливаем наибольшую (D) и наименьшую (d) крупность, строим график зернового состава (рисунок 5).

Таблица 15 – Зерновой состав крупного заполнителя

| Показатели, размерность | Размеры отверстий на ситах, мм | | | | |
|---------------------------|--------------------------------|----|----|----|-----|
| | 70 | 40 | 20 | 10 | 5 |
| Остатки частные $a_i, \%$ | - | 4 | 40 | 4 | 52 |
| Остатки полные $A_i, \%$ | - | 4 | 44 | 48 | 100 |

Наибольшая крупность: $D = 40\text{мм}$.

Наименьшая крупность: $d = 5\text{мм}$

Вывод: по зерновому составу данный щебень удовлетворяет требованиям ГОСТ.

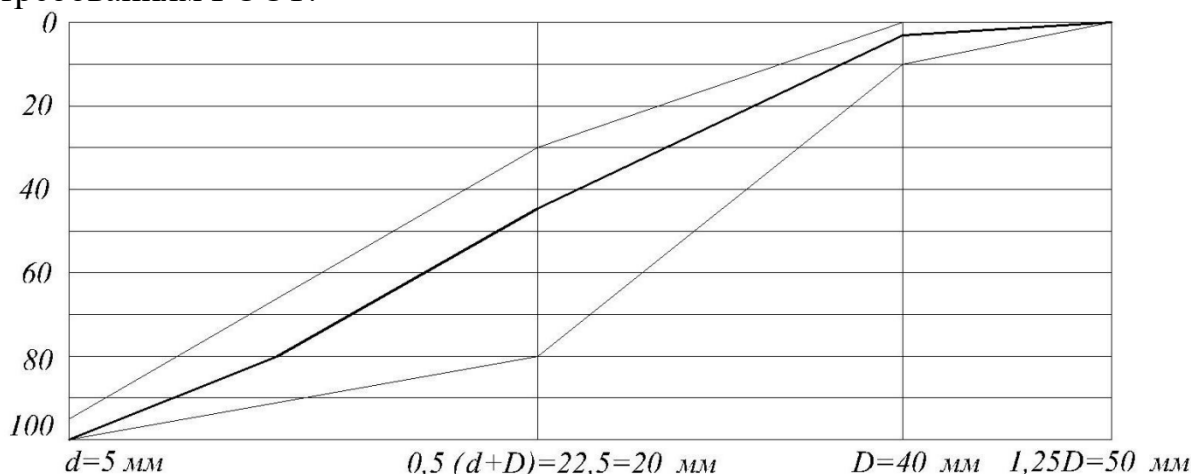


Рисунок 5 – График зернового состава крупного заполнителя

Конструкция – монолитный пол промышленного здания:

Наименьший размер сечения конструкции $b_{\min} = 800 \text{ мм}$;

Расстояние в свету между стержнями рабочей арматуры $a = 160 \text{ мм}$;

Допускаемая наибольшая крупность заполнителя D не более:

$$(3/4)a = (3/4) \times 160 = 120 \text{ мм}$$

$$(1/3)b_{\min} = (1/3) \times 800 = 267 \text{ мм}$$

Данный щебень удовлетворяет всем условиям: принимаем $D \leq 40 \text{ мм}$

Истинная плотность : $\rho_{\text{и}} = 2,85 \text{ кг} / \text{м}^3$

Насыпная плотность в сухом состоянии $\rho_{\text{нк}} = 1,43 \text{ кг} / \text{м}^3$.

3. Цементно-водное отношение по формуле прочности бетона. Вычислить В/Ц.

$$R_T = 12,5 \cdot 1,09 = 13,625 \text{ МПа}$$

Из формулы прочности бетона:

$$R_b = 136,25 \text{ кгс} / \text{см}^2 \leq 1,2 R_y = 1,2 \cdot 300 = 360 \text{ кгс} / \text{см}^2$$

Получаем:

$$Ц / В = \frac{R_{28}}{A \times R_y} + 0,5 = \frac{136,25}{0,55 \cdot 300} + 0,5 = 1,32$$

Водоцементное отношение (В/Ц) : $\frac{В}{Ц} = 0,75$

В нашем случае ограничений В/Ц по условию долговечности бетона нет, поэтому используем найденные значения В/Ц и Ц/В для дальнейшего расчета.

4. По таблице водопотребности бетонной смеси определить расход воды на 1 м³ бетона. Рассчитать расход цемента. Полученное значение сопоставить с минимально допустимым. По таблице 8 определяем расход воды на 1 м³ бетонной смеси, руководствуясь значениями подвижности бетонной смеси, наибольшей крупности и вида крупного заполнителя. При подвижности бетонной смеси 16...20 см и наибольшей крупности щебня 40 мм расход воды составит $V_{табл}=213$ кг. Учитывая, что при модуле крупности 2,58 водопотребность песка равна 5,84 %, по формуле (5) определяем окончательный расход воды:

$$V = V_{табл} + (B_{II} - 7) \times 5 = 213 + (5,84 - 7) \times 5 = 207,2 \text{ кг}$$

На основании принятых значений Ц/В и В по формуле (6) определяем расход цемента:

$$Ц = V \times (Ц / В) = 207,2 \times 1,32 = 273,5 \text{ кг}$$

Полученный расход цемента сопоставляем с минимально допускаемым. В нашем случае условия эксплуатации нормальные. Полагаем, что конструкция эксплуатируется в помещении с умеренной влажностью, тогда минимальный расход портландцемента с минеральными добавками составит 170 кг (таблица 9). Поскольку найденный расход цемента не ниже минимального, рекомендуемого нормами, оставляем его для дальнейшего расчета.

Принято $V = 207 \text{ кг}$, $Ц = 273 \text{ кг}$

5. Расход материалов на 1 м³ бетона, исходя из необходимости получить плотную смесь; среднюю плотность бетонной смеси.

Пустотность

$$V_n = 1 - \frac{\left(\begin{array}{c} \rho' \\ \text{нас.} \\ \rho \end{array} \right)}{\left(\begin{array}{c} \rho \\ \text{ист.} \end{array} \right)} = 1 - \frac{1,435}{2,85} = 0,49 = 49\%$$

Пустотность крупного заполнителя оказалась более 45%, необходимо вернуться к п. 3 расчета, принять коэффициент качества заполнителей $A=0,55$ и выполнить расчет заново (в данном задании мы уже приняли $A=0,55$).

Далее необходимо определить значение коэффициента раздвижки зерен крупного заполнителя. По таблице 10 методом интерполяции определяем $K_p = 1,38$

Расход крупного заполнителя:

$$Щ = \frac{1}{\frac{1}{V_n} + \frac{K_p}{\rho}} = \frac{1000}{\frac{1}{0,49} + \frac{1,38}{2,85}} = 1216 \cdot \text{ кг}$$

$$\begin{aligned}
 & \rho_{\text{у}} \quad \overline{\rho_{\text{ун}}} \quad 2,85 \quad 1,435 \\
 \Pi = & \left[\begin{array}{ccc} \text{Ц} & \text{В} & \text{Ш} \end{array} \right] \left[\begin{array}{ccc} (273 & 207 & 1216) \end{array} \right] \\
 & \left| 1 - \left(\frac{\quad}{\quad} + \frac{\quad}{\quad} + \frac{\quad}{\quad} \right) \right| \rho_n = \left| 1000 - \left| \quad + \quad + \quad \right| \right| \cdot 2,66 = 740 \cdot \text{к}^2 \\
 & \left[\begin{array}{ccc} \rho_{\text{у}} & \rho_{\text{в}} & \rho_{\text{ш}} \end{array} \right] \left[\begin{array}{ccc} (3,1 & 1 & 2,85) \end{array} \right]
 \end{aligned}$$

Таким образом, расход материалов для приготовления 1м³ бетона составляет, кг:

| | |
|--------|------|
| Цемент | 273 |
| Вода | 207 |
| Щебень | 1216 |
| Песок | 740 |
| Итого | 2436 |

Следовательно, средняя плотность бетонной смеси составляет 2436 кг/м³.

6. Состав бетона в относительных единицах по массе и по объему.

Состав бетона по массе:

$$\frac{Ц}{Ц} : \frac{В}{Ц} : \frac{П}{Ц} : \frac{Щ}{Ц} = \frac{273}{273} : \frac{207}{273} : \frac{740}{273} : \frac{1216}{273} = 1:0,76:2,71:4,45$$

Состав бетона по объему:

$$V_{ц} = Ц / \rho_{ц} = 273/1300 = 0,21 м^3$$

$$V_{в} = В / \rho_{в} = 207/1000 = 0,207 \cdot м^3$$

$$V_{п} = П / \rho_{п} = 740/1720 = 0,43 \cdot м^3$$

$$V_{щ} = Щ / \rho_{щ} = 1216/1435 = 0,847 \cdot м^3$$

$$\frac{V_{ц}}{V_{ц}} : \frac{V_{в}}{V_{ц}} : \frac{V_{п}}{V_{ц}} : \frac{V_{щ}}{V_{ц}} = \frac{0,21}{0,21} : \frac{0,207}{0,21} : \frac{0,43}{0,21} : \frac{0,847}{0,21} = 1:0,98:2,05:4,03$$

7. Изменение дозировки материалов с учетом влажности заполнителей. Рабочий состав бетона в относительных единицах.

Масса воды, содержащаяся в гравии при влажности 8 %:
 $1216 \times 0,08 = 97 \cdot кг$

Масса воды, содержащаяся в песке при влажности 2 %: $740 \times 0,02 = 15 кг$

Масса добавляемой воды с учетом содержащейся в заполнителях:

$$207 - 97 - 15 = 95 кг$$

Расход материалов:

$$Ц = 273 кг, В = 95 кг, П = 740 + 15 = 755 кг, Щ = 1216 + 97 = 1313 кг \text{ (всего } 2436 кг \text{)}$$

Истинное значение $В/Ц$ останется неизменным, а кажущееся:

$$В/Ц = 95/273 = 0,35$$

Рабочий состав бетона по массе:

$$\frac{Ц}{Ц} : \frac{В}{Ц} : \frac{П}{Ц} : \frac{Щ}{Ц} = 1 : \frac{95}{273} : \frac{755}{273} : \frac{1313}{273} = 1:0,35:2,76:4,81$$

Рабочий состав бетона по объему:

Насыпная плотность песка во влажном состоянии:

Насыпная плотность

щебня во влажном

СОСТОЯНИИ:

$$\rho_{пне} = 1,521 \text{ г} / \text{см}^3$$

$$\rho_{пце} = 1,65 \text{ г} / \text{см}^3$$

$$V_{ц} = Ц / \rho_{пц} = 273 / 1300 = 0,21 \text{ м}^3$$

$$V_{в} = В / \rho_{в} = 95 / 1000 = 0,095 \text{ м}^3$$

$$V_{п} = П / \rho_{пн} = 755 / 1521 = 0,49 \cdot \text{ м}^3$$

$$V_{ш} = Ш / \rho_{пш} = 1313 / 1650 = 0,79 \text{ м}^3$$

$$\frac{V_{ц}}{V_{ц}} : \frac{V_{в}}{V_{ц}} : \frac{V_{п}}{V_{ц}} : \frac{V_{ш}}{V_{ц}} = 1 : \frac{0,095}{0,21} : \frac{0,49}{0,21} : \frac{0,79}{0,21} = 1 : 0,45 : 2,33 : 3,76$$

Таким образом, расход материалов для приготовления 1 м³ бетона составляет, кг:

Цемент

273

| | |
|--------|------|
| Вода | 95 |
| Щебень | 1313 |
| Песок | 755 |
| Итого | 2436 |

Следовательно, средняя плотность бетонной смеси составляет 2436 кг/м³.

8. Коэффициент выхода бетона рабочего состава и объем бетона, получаемого в одном замесе бетоносмесителя вместимостью 2,5 м³.

$$\beta = \frac{1}{V_{ц} + V_{п} + V_{щ}} = \frac{1}{0,21 + 0,49 + 0,79} = 0,67$$

Дозировку материалов по рабочему составу на замес бетоносмесителя объемом $V=2500 \text{ дм}^3$ определяем по формулам:

$$Ц = \frac{\beta V}{v} \times Ц = \frac{0,67 \times 2500}{1000} \times 273 = 457,3 \text{ кг}$$

$$B = \frac{\beta V}{v} \times B = \frac{0,67 \times 2500}{1000} \times 95 = 159,1 \text{ кг}$$

$$П = \frac{\beta V}{v} \times П = \frac{0,67 \times 2500}{1000} \times 755 = 1264,6 \text{ кг}$$

$$Щ = \frac{\beta V}{v} \times Щ = \frac{0,67 \times 2500}{1000} \times 1313 = 2199,3 \text{ кг}$$

Объем бетона в замесе:

$$V_{з} = \beta V = 0,67 \times 2500 = 1675 \text{ дм}^3 = 1,675 \text{ м}^3$$

9. Изменение расхода цемента по сравнению с составом по п. 5, при условии, что расход воды в бетоне остается тем же, если:

9.1 на строительство поступил портландцемент марки 600

На строительство поступил цемент марки 600, который предстоит использовать в бетоне с требуемой прочностью 13,625 Мпа взамен ранее выбранного цемента марки 300. Поскольку в таблице 1 для бетона класса В12,5 цемент марки 500 не предусмотрен, необходимо ввести добавку– наполнитель, количество которой определяем по формуле (16):

$$a = \frac{R_{ц} - R_{см}}{R_{ц}} = \frac{600 - 300}{600} = 0,5$$

Учитывая активность смешанного вяжущего, а цементно-водное отношение в бетоне на этом вяжущем останется таким же, как и в бетоне, изготавливаемом на цементе марки 300:

$$Ц_{см} / B = \frac{R_{28}}{A \times R_{см}} + 0,5 = \frac{136,25}{0,55 \times 300} + 0,5 = 1,32$$

Полагая, что добавка не изменяет водопотребности бетонной смеси, определим расход смешанного вяжущего:

$$C_{см} = C_{см} / B \times B = 1,32 \times 207 = 273,24 \text{ кг}$$

Следовательно, расход цемента марки 600 составит:

$$C' = C_{cm} \times (1 - a) = 273,24 \times (1 - 0,5) = 136,62 \text{ кг}$$

Таким образом экономия цемента: $273,24 - 136,62 = 136,62 \text{ кг}$

9.2 требуемая прочность бетона должна быть достигнута в возрасте 18 сут, а не 28 сут, как было указано в условии задания

Зависимость прочности бетона нормального твердения от времени:

$$R' = R_{28} \frac{\lg 28}{\lg 18} = 136,25 \times \frac{1,4471}{1,255} = 157,09 \text{ кгс / см}^2$$

Полученное значение R_{28}^1 подставляем в формулу для определения Ц/В и затем при прежнем расходе воды находим новый расход цемента:

$$\left(\frac{C}{B} \right)' = \frac{R_{28}^1}{A \times R_u} + 0,5 = \frac{157}{0,55 \times 300} + 0,5 = 1,45$$

$$C' = (C / B) \times B = 1,45 \times 207 = 300,5 \text{ кг}$$

Увеличение расхода цемента составит $300,5 - 273 = 27,5 \text{ кг}$.

10. Суммарную стоимость материалов, расходуемых на изготовление 1 м³ бетона, и долю стоимости, приходящуюся на цемент (состав бетона принимать по п. 5).

Таблица 16 – Стоимость материалов

| Материал | Ед. | Расход на 1 м ³ бетона | Цена за ед., руб. | Стоимость на 1 м ³ бетона, руб. |
|------------------------------------|----------------|-----------------------------------|-------------------|--|
| Шлакопортландцемент ЦЕМ III 22,5 Н | т | 0,273 | 3683,47 | 1005,58 |
| Песок строительный | м ³ | 0,74 | 600 | 444 |
| Гранитный щебень | м ³ | 1,216 | 1200 | 1459,2 |
| Вода | м ³ | 0,207 | 20 | 4,14 |
| Итого: | | | | 2912,92 |

Вывод:

Доля стоимости, приходящаяся на цемент, составит – 34,5 %.

Контрольные вопросы

- 1) Что представляет собой тяжелый бетон?
- 2) Дайте классификацию бетонов в соответствии с ГОСТ 25192.
- 3) В чем различия между тестом, раствором, бетоном?
- 4) Что является важнейшей характеристикой бетона?
- 5) Что такое класс бетона по прочности? Как его определить?
- 6) Какой состав бетона считается рациональным?
- 7) Чем различаются лабораторный и производственный составы бетона?
- 8) Чем вызвано проведение окончательного расчета состава бетона?
- 9) В чем заключается закон прочности бетона? Приведите формулы, графики.
- 10) В чем заключается закон водоцементного отношения?
- 11) Из каких этапов состоит проектирование состава бетона?
- 12) Как выбрать вид и марку цемента для бетона?
- 13) Какие условия следует выполнить при расчете состава тяжелого бетона по методу абсолютных объемов?
- 14) Что представляет собой строительный раствор?
- 15) Как классифицируются строительные растворы по средней плотности, виду вяжущего и прочности на сжатие?
- 16) По каким показателям осуществляется выбор вида вяжущего для строительного раствора?
- 17) Перечислите основные показатели качества растворной смеси и раствора.
- 18) С какой целью вводят в строительные растворы неорганические и органические добавки?

- 19) Как производится определение прочности раствора и его марки?
- 20) Что называют бетонной смесью?
- 21) Каковы основные технические свойства бетонных смесей?
- 22) Приведите последовательность расчета начального состава бетона. Чем лабораторный состав бетона отличается от рабочего состава?
- 23) Какие производственные факторы влияют на качество бетона?
- 24) Какие существуют способы ускорения твердения бетона?

Рекомендуемая литература

1. Рыбьев, И.А. Строительное материаловедение [Текст]: учебное пособие для бакалавров/ И.А.Рыбьев. – 4-е изд. – М.: Издательство Юрайт, 2012. – 701 с. – Серия: Бакалавр – ISBN 978-5-9916-9
2. Строительные материалы [Текст]: учебник для студ. учреждений высш. Проф. образования / Л.А. Алимов, В.В. Воронин. –М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 320 с. – ISBN: 978-5-7695-8336-0
3. Микульский, В. Г. Строительные материалы (Материаловедение. Строительные материалы) [Текст]: учебник/ В. Г. Микульский, Г. И. Горчаков, В. В. Козлов и др.; под ред. В. Г. Микульского и В. В. Козлова. – М. : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2004. – 536 с. – ISBN 5-93093-041-4
4. Попов, К. Н. Строительные материалы и изделия [Текст]: учебник / К.Н. Попов, М.Б. Каддо. – М.: Высшая школа, 2001. – 367 с. – ISBN5-06-003799-1
5. Фетисов, Г. П. материаловедение и технология металлов [Текст]: учебник для вузов / Г. П. Фетисов, М. Г. Карпман, В. М. Матюнин и др.; под ред. Г. П. Фетисов – М. : Высшая школа, 2000. – 638 с. – ISBN: 5-06-004418-1
6. Невского, В.А. Строительное материаловедение [Текст]: учебное пособие / под общ. ред. В.А.Невского. – Изд. 3-е, доп. и перераб. – Рстов н/Д: Феникс, 2010. – 588 с. – ISBN: 978-5-222-17506-4
7. Ковалев Я.Н. Строительные материалы [Текст]: Лабораторный практикум / Я.Н. Ковалев, Г.С. Галузо, А.Э. Змачинский, Т.А. Чистова; под ред. проф. Я.Н. Ковалев – М. : Издательский центр « НИЦ Инфра-М, Новое знание», 2015. – 633 с. – ISBN: 978-5-16-006406-2
8. Барабанщиков Ю.Г. Строительные материалы и изделия [Текст]: учебник для учреждений сред. Проф. образования/ Ю.Г. Барабанщиков.– 4-е изд.,стер.–М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 416 с. – ISBN: 978-5-7695-9859-3

Раздел 1. Строительные материалы и изделия

Тема 1.4. Бетоны и растворы. Железобетон. Металлы и сплавы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «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 9 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*.

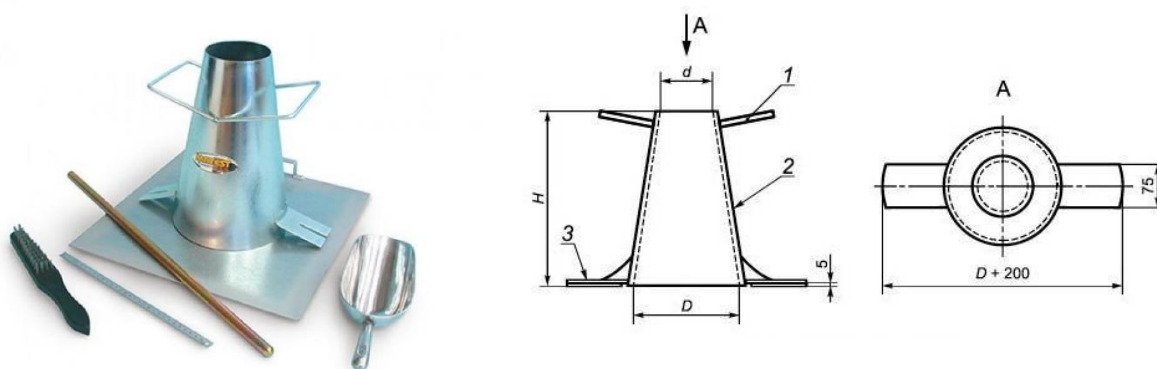
Задание 1. Определение подвижности бетонной смеси

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 1000×1000 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

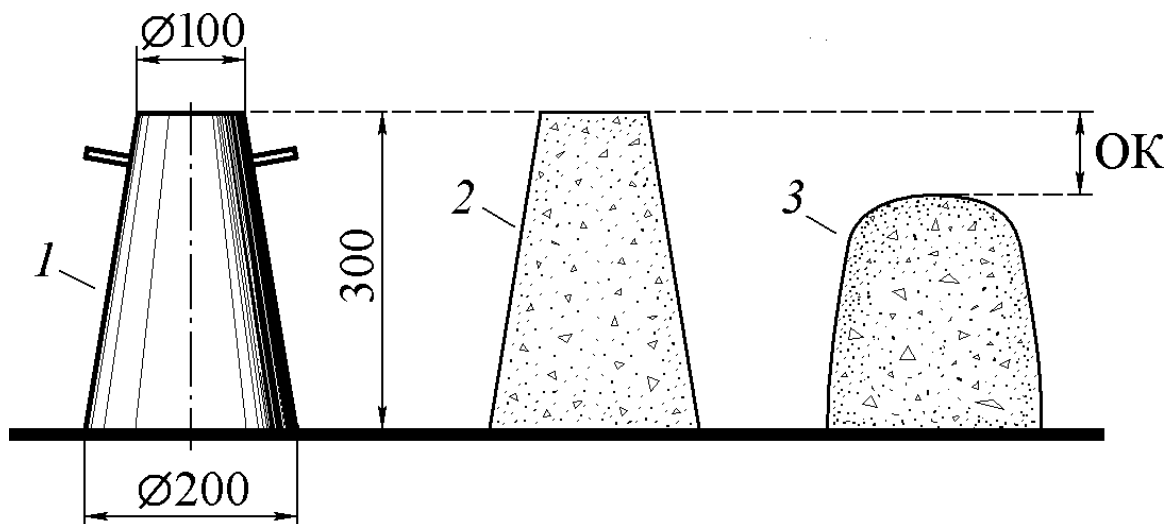


Рисунок 8.2 – Определение удобоукладываемости бетонной смеси:
 1 – конус Абрамса; 2 – жесткая бетонная смесь (ОК=0);
 3- подвижная бетонная смесь (ОК>0)

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 | ≥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.

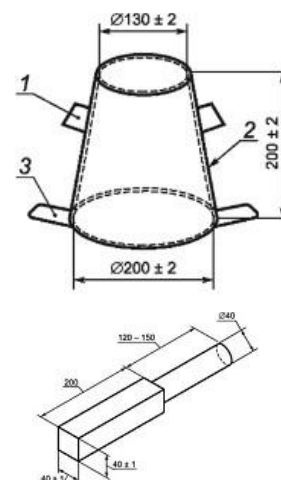


Рисунок 8.4 – Прибор для определения растекаемости бетонной смеси
 а – внешний вид прибора; б – схема конуса и уплотняющего бруса:

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.

Рекомендуемая литература

11. Рыбьев, И.А. Строительное материаловедение [Текст]: учебное пособие для бакалавров/ И.А.Рыбьев. – 4-е изд. – М.: Издательство Юрайт, 2012. – 701 с. – Серия: Бакалавр – ISBN 978-5-9916-9
12. Строительные материалы [Текст]: учебник для студ. учреждений высш. Проф. образования / Л.А. Алимов, В.В. Воронин. –М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 320 с. – ISBN: 978-5-7695-8336-0
3. Микульский, В. Г. Строительные материалы (Материаловедение. Строительные материалы) [Текст]: учебник/ В. Г. Микульский, Г. И. Горчаков, В. В. Козлов и др.; под ред. В. Г. Микульского и В. В. Козлова. – М. : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2004. – 536 с. – ISBN 5-93093-041-4
4. Попов, К. Н. Строительные материалы и изделия [Текст]: учебник / К.Н. Попов, М.Б. Каддо. – М.: Высшая школа, 2001. – 367 с. – ISBN 5-06-003799-1
5. Фетисов, Г. П. Материаловедение и технология металлов [Текст]: учебник для вузов / Г. П. Фетисов, М. Г. Карпман, В. М. Матюнин и др.; под ред. Г. П. Фетисов – М. : Высшая школа, 2000. – 638 с. – ISBN: 5-06-004418-1
5. Невского, В.А. Строительное материаловедение [Текст]: учебное пособие / под общ. ред. В.А.Невского. – Изд. 3-е, доп. и перераб. – Ростов н/Д: Феникс, 2010. – 588 с. – ISBN: 978-5-222-17506-4
6. Ковалев Я.Н. Строительные материалы [Текст]: Лабораторный практикум / Я.Н. Ковалев, Г.С. Галузо, А.Э. Змачинский, Т.А. Чистова; под ред. проф. Я.Н. Ковалев – М. : Издательский центр « НИЦ Инфра-М, Новое знание», 2015. – 633 с. – ISBN: 978-5-16-006406-2
7. Барабанщиков Ю.Г. Строительные материалы и изделия [Текст]: учебник для учреждений сред. Проф. образования/ Ю.Г. Барабанщиков.– 4-е изд.,стер.–М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 416 с. – ISBN: 978-5-7695-9859-3

Раздел 1. Строительные материалы и изделия

Тема 1.4. Бетоны и растворы. Железобетон. Металлы и сплавы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «Кладочный общестроительный раствор»

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

Теоретическая часть

Минеральные вяжущие – это тонко измельчённые минеральные порошки, образующие при смешивании с водой пластичную массу, которая с течением времени под влиянием физико-химических процессов переходит в камневидное состояние. Это свойство вяжущих используют для получения искусственных каменных материалов (бетонов и др.). В данном случае механические процессы обработки природного сырья в большей мере заменены химическими – более простыми, производительными и экономически выгодными.

Различают две группы минеральных вяжущих: воздушные, которые после перемешивания с водой способны твердеть, сохранять и повышать свою прочность только на воздухе (гипсовые, воздушная известь, магнезиальные), и гидравлические, которые после затворения водой способны твердеть, сохранять и повышать свою прочность не только на воздухе, но и в воде. К гидравлическим вяжущим относятся цементы, гидравлическая известь.

Для получения минеральных вяжущих используют следующие основные горные породы.

Природный гипс – светлый, иногда окрашенный примесями в серые или желтоватые цвета минерал. Реже применяют безводный гипс – ангидрит, а также гипсосодержащие отходы химической промышленности.

При производстве извести используют горные породы, состоящие в основном из карбоната кальция. Цвет известковых пород зависит от примесей: чистые известняки обычно белого цвета, примеси окрашивают их в желтоватые, бурые, серые и даже чёрные тона.

Природные магнезиты и доломиты – основное сырьё для производства магнезиальных вяжущих.

Для получения портландцемента – основного гидравлического вяжущего – чаще всего используют известняки, глины и корректирующие добавки (с которыми вводится тот или иной недостающий компонент). Обычно соотношение между известняком и глиной составляет примерно 3:1 (в частях по массе).

Производство минеральных вяжущих сводится к двум главным технологическим операциям: помол и обжиг.

Обычно стремятся хорошо измельчать сырьё до обжига или продукт

после обжига. Тонкость помола минеральных вяжущих влияет на свойства искусственных каменных материалов, приготовленных на их основе. С увеличением тонкости помола увеличивается связывающая, клеящая способность пластичной массы, которая образуется после перемешивания вяжущего с водой. В результате выше плотность и прочность искусственного камня.

Важнейшая операция при производстве минеральных вяжущих – обжиг сырьевых минералов. Именно после обжига получается продукт, способный при соединении с водой образовывать пластичную массу, твердеющую с течением времени.

К основным видам материалов на основе минеральных вяжущих относят бетон, железобетон, строительные растворы, силикатные (на основе воздушной извести), асбестоцементные, гипсовые и краски. Есть ещё материалы специального назначения, в том числе теплоизоляционные, кровельные, для гидротехнических сооружений, дорог.

Бетон – искусственный камень, полученный в результате перемешивания, формования (укладки) и последующего твердения рационально подобранной смеси минерального вяжущего, воды и заполнителя. В основном бетоны классифицируются по средней плотности: особо тяжёлый со средней плотностью выше 2500 кг/м^3 , содержащий плотные и тяжёлые заполнители (чугунная дробь, стальные опилки и зёрна, барит); тяжёлый, содержащий плотные мелкие и крупные заполнители (песок, щебень или гравий) и имеющий среднюю плотность от 2200 до 2500 кг/м^3 ; лёгкий – от 500 до 1800 кг/м^3 ; особо лёгкий бетон, отличающийся средней плотностью менее 500 кг/м^3 , имеет ячеистую или крупнопористую структуру.

По функциональному назначению выделяют бетоны общего (для несущих и ограждающих конструкций жилых, общественных, промышленных зданий) и специального (теплоизоляционные, дорожные, гидротехнические, декоративные и др.) назначения.

Железобетон получают на строительной площадке или в заводских условиях, соединяя в единое целое бетон и стальную арматуру.

Армирование предполагает установку стальной арматуры в тех местах материала (бетона), которые подвержены при эксплуатации растягивающим нагрузкам. Их воспринимает рабочая несущая арматура.

Непосредственно на месте строительства возводятся монолитные железобетонные конструкции. Для этого устанавливают опалубку из металла, древесины или других материалов, которые соответствуют будущей форме сооружения. Затем ставят арматуру, производят подачу и укладку бетонной смеси. Распалубливание железобетонной конструкции производят после достижения бетоном необходимой прочности. Архитектурные формы зданий и сооружений из монолитного железобетона очень разнообразны и отличаются своеобразной пластикой.

В настоящее время изготавливают сборные бетонные и железобетонные материалы для всех основных частей современных зданий и сооружений –

фундаментов и каркасов, стен, перегородок, перекрытий, покрытий, лестниц, а также для специальных видов строительства (подземного, дорожного, гидротехнического, мостостроения).

Фундаментные блоки выполняют из тяжёлого бетона прямоугольного или трапециевидного сечения

Колонны – железобетонные линейные элементы прямоугольного сечения, например, размером 30х30 или 40х40 см. Длина колонн в многоэтажных зданиях до 840 см

Ригели каркасов выпускают обычно таврового сечения с полкой по боковым граням для опирания плит перекрытий.

Панели наружных стен изготавливают из лёгкого бетона на пористом заполнителе или из ячеистого бетона с арматурой из сварных сеток, размером на жилую комнату.

Панели внутренних стен производят из тяжёлого или лёгкого бетона сплошными или с дверными проёмами.

Рядом преимуществ обладают трёхслойные панели толщиной до 25-30 см. Для строительства промышленных зданий выпускают панели толщиной 16-30 см и других размеров.

Плиты и панели перекрытий отличаются сплошным или пустотелым строением, могут быть ребристыми.

Фермы и балки изготавливают обычно из предварительно напряжённого железобетона для зданий с пролётом соответственно 18, 24 и 6,12,18 м.

Лестничные марши из железобетона отличаются ступенчатым профилем, часто имеют плоские концевые участки, образующие лестничные площадки.

Плиты для строительства дорог и аэродромов изготавливают на основе тяжёлого предварительно напряжённого бетона.

Плиты, блоки, сегменты теплоизоляционные производят в основном из особо лёгких бетонов на различных вяжущих (цементе, извести, гипсе).

Строительные растворы получают из различных минеральных вяжущих (цемента, извести, гипса и их смесей – цементно-известковых, известково-гипсовых, а также цементно-глиняных и др.), мелкого заполнителя и добавок, улучшающих свойства материала.

В зависимости от назначения различают растворы кладочные, используемые при кладке стен, фундаментов, столбов и других частей конструкций; штукатурные – для внутренних и наружных стен, потолков и др; монтажные – для заполнения швов между сборными элементами (панелями, блоками) при их монтаже; специальные – декоративные, гидроизоляционные и др.

К силикатным искусственным каменным материалам относят кирпич и бетон.

Силикатный кирпич изготавливают из смеси извести, кварцевого песка и воды. После перемешивания и формования (прессования) материал твердеет.

Силикатные бетоны аналогично обычно различают по средней плотности – тяжёлые, лёгкие.

Асбестоцементные материалы изготавливают из специального портландцемента марок 400 и 500 и волокон асбеста, которые значительно упрочняют структуру цементного камня.

Гипсовые материалы получают из гипсового теста и минеральных или органических тонкомолотых заполнителей (гипсокартонные листы, гипсокартон, гипсоволокнистые листы).

Краски на основе минеральных вяжущих содержат щелочестойкие пигменты и небольшое количество добавок (известковые краски, цементные краски, силикатные краски).

Эксплуатационно-технические свойства большинства материалов на основе минеральных вяжущих в значительной мере определяются характеристиками, соотношением сырьевых компонентов и формируются на стадиях перемешивания, укладки и твердения. Бетонная (растворная) смесь должна быть удобоукладываемой. Важные физические и химические свойства бетона – водонепроницаемость, морозостойкость, коррозионная стойкость, а также прочность и деформативность – связаны с плотностью его структуры.

При оценке свойств строительных растворов учитывают особенности их применения по сравнению с бетоном: использование в сравнительно тонких слоях, нанесение на водоотсасывающее основание (кирпич, бетоны). В результате большое значение имеет вододерживающая способность растворной смеси.

Основные показатели эксплуатационно-технических свойств силикатного кирпича – водопоглощение, морозостойкость и предел прочности при сжатии.

Асбестоцементные материалы отличаются достаточно высокими морозостойкостью и коррозионной стойкостью

Эксплуатационную надёжность и долговечность гипсовых строительных материалов связывают прежде всего с их сравнительно высокими гигроскопичностью и водопоглощением.

Эксплуатационно-технические свойства красок в большей мере зависят от вида минерального вяжущего.

Эстетические характеристики материалов на основе минеральных вяжущих весьма разнообразны и должны назначаться с учётом комплекса факторов, в том числе необходимой выразительности, условий эксплуатации и технологических особенностей производства.

Эстетические характеристики бетонных и железобетонных материалов следует связывать с их массовым применением при комплексно-механизированной сборке зданий и сооружений.

При оценке эстетических характеристик декоративных бетонов и растворов учитывают, что на лицевой поверхности не допускаются выцветы и высолы, пятна, полосы от цементного молока и местные наплывы. На гладкой

лицевой поверхности не допускаются раковины.

На лицевой поверхности силикатного кирпича не допускаются, дефекты от непогашенной извести.

Внешний вид материалов на основе минеральных вяжущих оценивают визуально и с помощью микроскопов, увеличительных стёкол, металлических измерительных инструментов, приспособлений, шаблонов и трафаретов.

Широкое применение искусственных каменных материалов на основе минеральных вяжущих – конструкционных, конструкционно-отделочных, отделочных – обуславливается наличием значительных запасов сравнительных запасов сравнительно дешевых сырьевых материалов; возможностью удовлетворять разнообразным требованиям всех видов строительства, в том числе при создании разнообразных форм, вариантов отделки лицевой поверхности; конструкционной совместимостью с другими материалами; сравнительной простотой, низкой энергоёмкостью, возможностью механизации и автоматизации процесса производства; сравнительно низкой себестоимостью материалов и их эксплуатационными характеристиками.

С эстетической точки зрения восприятие искусственных каменных материалов связано с визуальным ощущением «каменистости», тяжести

Экологическая чистота рассматриваемых материалов не будет вызывать сомнений, если заполнители из горных пород перед их использованием будут исследованы на содержание природных радионуклидов.

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 CaCO_3 (мел, плотный известняк и др.);
- глинистые породы (глины, глинистые сланцы), основной составляющей которых являются водные алюмосиликаты с общей формулой

$Al_2O_3 \cdot nSiO_2 \cdot mH_2O$;

- 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 мокрым 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 $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$. 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 ₂ O ₃ | 4...8 |
| SiO ₂ | 21...24 | Fe ₂ O ₃ | 2...4 |

В небольших количествах в клинкере содержатся MgO, SO₃, Na₂O, K₂O, TiO₂, Cr₂O₃, P₂O₅.

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 (Na₂O и K₂O) не должно превышать 0,6%, так как они могут явиться причиной коррозии бетона и существенно замедлять схватывание портландцемента.

Минеральный состав клинкера:

Трехкальциевый силикат (алит) – $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ (C₃S₁) – 45...60% – основной минерал клинкера, определяет скорость твердения, прочность и другие свойства портландцемента;

Двухкальциевый силикат (белит) – $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ (C₂S) – 20...30% – медленно твердеет, но достигает высокой прочности при длительных сроках твердения;

Трехкальциевый алюминат $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ (C₃A) – 4...12% – быстро гидратируется и твердеет, но конечная прочность его небольшая; является причиной сульфатной коррозии цементного камня;

Четырехкальциевый алюмоферрит $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ (C₄AF) – 10...20% – по скорости твердения занимает промежуточное положение между C₃S и C₂S.

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.

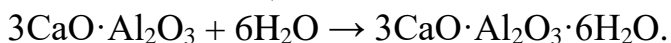
Твердение портландцемента происходит благодаря сложным физико-химическим процессам взаимодействия клинкерных минералов и гипса с водой. Сразу после затворения начинаются химические реакции. В результате физико-химических процессов на поверхности твердых частиц и в жидкой фазе формируются продукты гидратации в виде новообразований различной закристаллизованности. На их смачивание затрачивается вода, поэтому система постепенно теряет подвижность, загустевает, переходит в твердое 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 гидросульфоалюминат кальция (эттрингит) в начале гидратации портландцемента:



Эттрингит выделяется в виде пленок на поверхности частиц C_3A , затрудняет доступ к ним воды и, соответственно, замедляет их гидратацию и отодвигает начало схватывания цемента. Кроме того, роль добавки гипса состоит в улучшении свойств цементного камня (прочности, морозостойкости) за счет уплотнения структуры, связанного с увеличением объема эттрингита (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 | ГОСТ 10178–85 | ГОСТ 30515–2013 ГОСТ 31108–2003 |
| Методы испытаний | ГОСТ 310.1 – ГОСТ 310.6 | ГОСТ 30744–2001 |

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

| № п/п | Виды цементов (по «старым» стандартам) | = | Типы цементов (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%) – <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 цементов 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) – SO₃, хлор-иона (Cl⁻), 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/м³.

Насыпная плотность в рыхлом состоянии – 900...1100 кг/м³, в уплотненном состоянии – 1400...1700 кг/м³, в среднем для расчетов принимают насыпную плотность 1300 кг/м³.

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 см²/г (или 250...300 м²/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

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

показателя при помощи колец Ле-Шателье. К неравномерному изменению объема приводят местные деформации, вызываемые расширением свободных СаО и MgO при их взаимодействии с водой.

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/см². 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 портландцемента | Предел прочности, МПа (кгс/см ²), в возрасте 28 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 деление цементов 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 цементов любого класса в обязательном порядке должна быть обеспечена прочность в промежуточном возрасте (2 или 7 суток).

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

| Класс прочности цемента | Предел прочности на сжатие, МПа, в возрасте | | | | Начало схватывания, мин. Не ранее |
|-------------------------------|--|--------------------|----------|----------|--|
| | 2 сут, не менее | 7 сут, 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 по ГОСТ 31108-2003 | 22,5 | 32,5 | 42,5 | 52,5 |
| Марка цемента 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, 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 10 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

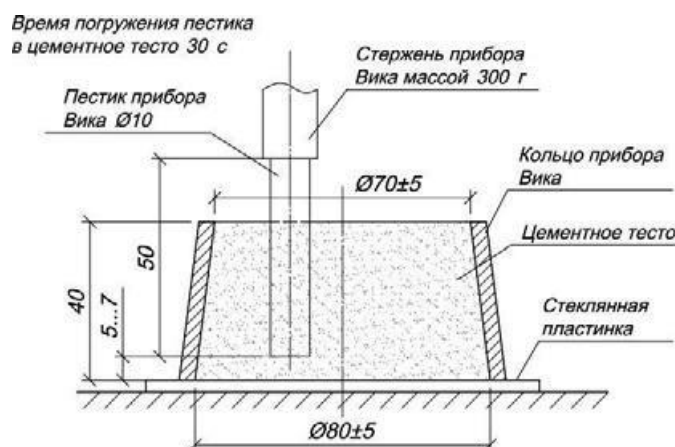


Рисунок 5.2 – Схема определения нормальной густоты цементного теста

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 мм².

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.

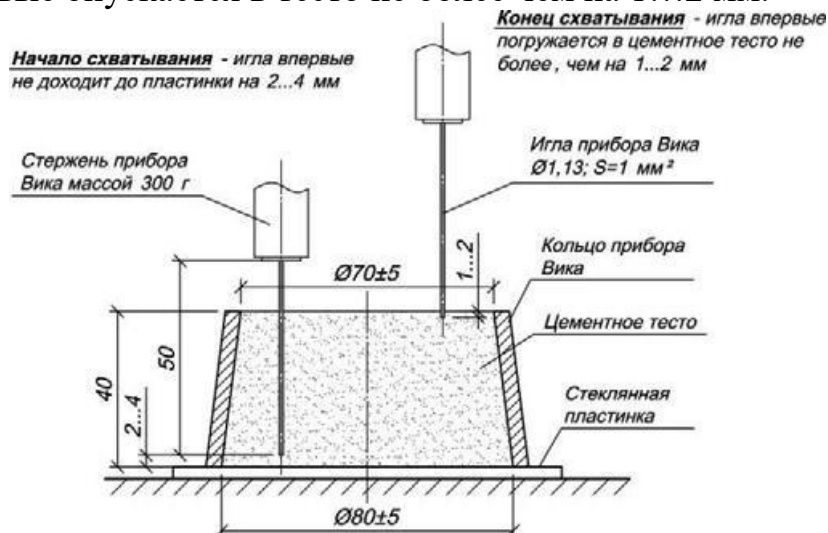


Рисунок 5.3 – Схема определения сроков схватывания цементного теста

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

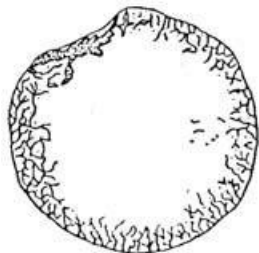
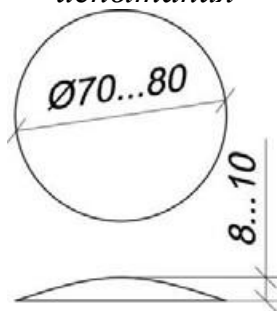
Лепешки на пластине помещают в ванну с гидравлическим затвором (рис. 5.4), где хранят в течение (24 ± 2) ч с момента изготовления. В ванне с гидравлическим затвором поддерживается комнатная температура $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ и влажность 95...100 %.

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, доходящих 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 доходящих до краев лепешек.

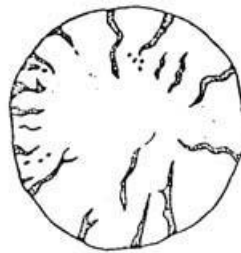
*Вид образцов до
испытания*



Разрушение

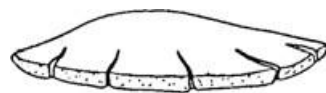
*Лепешки, выдержавшие испытание на
равномерность изменения объема*

Без повреждений



Радиальные трещины

Трещины усыхания



Искривление

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

Контрольные вопросы

39. Каким образом получают портландцемент? Какие сырьевые материалы используют при производстве клинкера портландцемента? Какие существуют способы производства портландцементного клинкера? В чём их отличие?

40. Каковы химический и минеральный составы портландцементного

клинкера?

41. Напишите уравнения реакций гидратации основных клинкерных минералов. Для чего в состав портландцемента вводится добавка гипса?

42. Назовите основные показатели качества портландцемента.

43. Как определить нормальную плотность цементного теста по ГОСТ 310.3–76?

44. Как определить сроки схватывания портландцемента по ГОСТ 310.3–76? Каковы требования ГОСТ 10178–85 к срокам схватывания портландцемента?

45. Как определить равномерность изменения объёма портландцемента по ГОСТ 310.3–76? В чём состоит причина неравномерного изменения объёма?

46. Как определить активность и марку портландцемента с использованием монофракционного песка по ГОСТ 310.4–81?

47. Каковы основные области применения портландцемента?

48. Назовите и дайте краткую характеристику специальных видов портландцемента.

49. Каким образом получают глинозёмистый цемент? Каков минеральный и химический состав глинозёмистого цемента?

50. Напишите уравнение реакции гидратации основного минерала глинозёмистого цемента. Каковы особенности твердения глинозёмистого цемента при нормальных и повышенных температурах?

51. Назовите основные показатели качества глинозёмистого цемента. В чём состоят особенности свойств глинозёмистого цемента?

52. Приведите рациональные области применения глинозёмистого цемента?

53. Каким образом классифицируются портландцементы по ГОСТ 31108–2003.

54. Как определить нормальную плотность цементного теста по ГОСТ 30744–2001?

55. Как определить сроки схватывания портландцемента по ГОСТ 30744–2001? Каковы требования ГОСТ 31108–2003 к срокам схватывания портландцемента?

56. Как определить равномерность изменения объёма портландцемента по 30744–2001?

57. Как определить активность и класс прочности портландцемента с использованием полифракционного песка по 30744–2001?

Рекомендуемая литература

13. Рыбьев, И.А. Строительное материаловедение [Текст]: учебное пособие для бакалавров / И.А.Рыбьев. – 4-е изд. – М.: Издательство Юрайт, 2012. – 701 с. – Серия: Бакалавр – ISBN 978-5-9916-9

14. Строительные материалы [Текст]: учебник для студ. учреждений высш. Проф. образования / Л.А. Алимов, В.В. Воронин. –М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 320 с. – ISBN: 978-5-7695-8336-0

3. Микульский, В. Г. Строительные материалы (Материаловедение. Строительные материалы) [Текст]: учебник/ В. Г. Микульский, Г. И. Горчаков, В. В. Козлов и др.; под ред. В. Г. Микульского и В. В. Козлова. – М. : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2004. – 536 с. – ISBN 5-93093-041-4
4. Попов, К. Н. Строительные материалы и изделия [Текст]: учебник / К.Н. Попов, М.Б. Каддо. – М.: Высшая школа, 2001. – 367 с. – ISBN 5-06-003799-1
5. Фетисов, Г. П. материаловедение и технология металлов [Текст]: учебник для вузов / Г. П. Фетисов, М. Г. Карпман, В. М. Матюнин и др.; под ред. Г. П. Фетисов – М. : Высшая школа, 2000. – 638 с. – ISBN: 5-06-004418-1
5. Невского, В.А. Строительное материаловедение [Текст]: учебное пособие / под общ. ред. В.А.Невского. – Изд. 3-е, доп. и перераб. – Рстов н/Д: Феникс, 2010. – 588 с. – ISBN: 978-5-222-17506-4
6. Ковалев Я.Н. Строительные материалы [Текст]: Лабораторный практикум / Я.Н. Ковалев, Г.С. Галузо, А.Э. Змачинский, Т.А. Чистова; под ред. проф. Я.Н. Ковалев – М. : Издательский центр « НИЦ Инфра-М, Новое знание», 2015. – 633 с. – ISBN: 978-5-16-006406-2
7. Барабанщиков Ю.Г. Строительные материалы и изделия [Текст]: учебник для учреждений сред. Проф. образования/ Ю.Г. Барабанщиков.– 4-е изд.,стер.–М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 416 с. – ISBN: 978-5-7695-9859-3

Раздел 1. Строительные материалы и изделия

Тема 1.4. Бетоны и растворы. Железобетон. Металлы и сплавы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «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 15x15x15 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: В3,5; В5; В7,5; ... В100; В110; В120.
 - на классы прочности на осевое растяжение: В_т0,8; В_т1,2; В_т1,6; ... В_т4,4; В_т4,8.
 - на классы прочности на растяжение при изгибе: В_{тб}0,4; В_{тб} 0,8; ... В_{тб} 9,6; В_{тб} 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 В 5 получим среднюю прочность 6,43 МПа, а для класса В 40 – 51,4 МПа.

Средняя прочность бетона на сжатие на производстве характеризуется марками по прочности на сжатие (в десятых долях МПа ($кгс/см^2$)) – 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 $V/C \geq 0,4$ ($C/V \leq 2,5$)

$$R_6 = A \cdot R_c (C/V - 0,5);$$

б) высокопрочного бетона при $V/C < 0,4$ ($C/V > 2,5$)

$$R_6 = A_1 \cdot R_c (C/V + 0,5),$$

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_c – активность цемента, МПа.

Со временем при благоприятных условиях твердения прочность бетона растет. Для ее ориентировочного определения в разном возрасте бетона используют формулу

$$R = R \frac{\lg n}{n},$$

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 портландцементе 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) нагружении, 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 синструкцией 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 11

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 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 см³;
- наличие зерен заполнителя размером более 1,5 d_{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.

Рекомендуемая литература

1. Рыбьев, И.А. Строительное материаловедение [Текст]: учебное пособие для бакалавров/ И.А.Рыбьев. – 4-е изд. – М.: Издательство Юрайт, 2012. – 701 с. – Серия: Бакалавр – ISBN 978-5-9916-9

2. Строительные материалы [Текст]: учебник для студ. учреждений высш. Проф. образования / Л.А. Алимов, В.В. Воронин. –М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 320 с. – ISBN: 978-5-7695-8336-0

3. Микульский, В. Г. Строительные материалы (Материаловедение. Строительные материалы) [Текст]: учебник/ В. Г. Микульский, Г. И. Горчаков, В. В. Козлов и др.; под ред. В. Г. Микульского и В. В. Козлова. – М. : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2004. – 536 с. – ISBN 5-93093-041-4

4. Попов, К. Н. Строительные материалы и изделия [Текст]: учебник / К.Н. Попов, М.Б. Каддо. – М.: Высшая школа, 2001. – 367 с. – ISBN 5-06-

003799-1

5. Фетисов, Г. П. Материаловедение и технология металлов [Текст]: учебник для вузов / Г. П. Фетисов, М. Г. Карпман, В. М. Матюнин и др.; под ред. Г. П. Фетисов – М. : Высшая школа, 2000. – 638 с. – ISBN: 5-06-004418-1

5. Невского, В.А. Строительное материаловедение [Текст]: учебное пособие / под общ. ред. В.А.Невского. – Изд. 3-е, доп. и перераб. – Ростов н/Д: Феникс, 2010. – 588 с. – ISBN: 978-5-222-17506-4

6. Ковалев Я.Н. Строительные материалы [Текст]: Лабораторный практикум / Я.Н. Ковалев, Г.С. Галузо, А.Э. Змачинский, Т.А. Чистова; под ред. проф. Я.Н. Ковалев – М. : Издательский центр « НИЦ Инфра-М, Новое знание», 2015. – 633 с. – ISBN: 978-5-16-006406-2

7. Барабанщиков Ю.Г. Строительные материалы и изделия [Текст]: учебник для учреждений сред. Проф. образования/ Ю.Г. Барабанщиков.– 4-е изд., стер.–М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 416 с. – ISBN: 978-5-7695-9859-3

Раздел 1. Строительные материалы и изделия

Тема 1.4. Бетоны и растворы. Железобетон. Металлы и сплавы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «Испытание нефтяного битума»

Цель работы: ознакомиться со стандартными методами испытания битумных вяжущих веществ (определение твердости, растяжимости, температуры размягчения).

Теоретическая часть

Битумы представляют собой органическое вещество, состоящее главным образом из смеси высокомолекулярных углеводородов, метанового, нафтенового и ароматического рядов и их кислородных и сернистых производных.

В зависимости от **исходного сырья** различают битумы **природные** и **искусственные нефтяные**. По **консистенции** (при температуре 18°C) битумы делят на **твердые, полутвердые и жидкие**; по преимущественному назначению — на **дорожные, строительные и кровельные**.

• **Природный битум** — органическое вещество черного или темно-коричневого цвета, при нагревании постепенно размягчается и переходит в жидкое состояние, а при охлаждении затвердевает. Природный битум нерастворим в воде, но легко растворяется в сероуглероде, хлороформе, бензоле и трудно в бензине. Структура природных битумов, их физико-химические и физико-механические свойства близки к нефтяным битумам. Природный битум в чистом виде бывает редко. Чаще встречаются пропитанные битумом горные породы (известняки, доломиты, песчаники, грунт). Природный битум образовался из нефти в результате медленного удаления из нее легких и средних фракций, а также под влиянием процессов полимеризации и окисления. В верхние слои земной коры нефть попала в результате миграции, при этом под влиянием тепловых воздействий и давления на протяжении тысячелетий происходило заполнение пустот и пор горных пород и их пропитывание нефтью.

Природные битумы можно извлекать из битумных пород вываркой в котлах или растворением в органических растворителях (экстрагирование). Извлечение битума из асфальтовых пород целесообразно лишь в том случае, когда содержание его в породе составляет не менее 10—15%.

Битумные известняковые и доломитовые породы без извлечения битума используют в виде тонкого порошка (асфальтовый порошок) для получения асфальтовой мастики и асфальтовых бетонов.

• **Нефтяные битумы** являются продуктом переработки нефти и ее смолистых остатков. В зависимости от вязкости нефтяные битумы делят на твердые, полутвердые и жидкие, а в зависимости от способа переработки — на остаточные гудроны, окисленные, крекинговые и экстрактные.

Остаточные гудроны получают при атмосферно-вакуумной перегонке

высокосмолистой нефти после отбора бензина, керосина и масляных фракций. Они представляют собой черные твердые или почти твердые при нормальной температуре вещества темного или темно-коричневого цвета.

Окисленные битумы получают путем продувки воздуха через нефтяные остатки. В процессе производства окисленных битумов кислород воздуха реагирует с водородом, содержащимся в остатках, образуя водяные пары. Потеря водорода сопровождается уплотнением нефтяных остатков ввиду их полимеризации и сгущения.

Крекинговые битумы получают при крекинге (разложении при высокой температуре) нефти и нефтяных масел с целью получения большого выхода бензина. Продувка воздуха через эти остатки дает окисленные крекинговые битумы.

Битумы твердые и полутвердые делят на марки. В основу этого деления положены вязкость, пластичность и поведение битума при изменении температуры.

Вязкость — свойство материала оказывать сопротивление перемещению частиц под воздействием внешних сил. Вязкость битума зависит от температуры. При пониженных температурах вязкость битума велика и он приобретает свойства твердого тела; с увеличением температуры вязкость уменьшается и битум переходит в жидкое состояние. Для характеристики вязкости битумов (вязких и твердых) пользуются условным показателем твердости — глубиной проникания иглы (пенетрацией). Вязкость жидких битумов определяют на стандартом вискозиметре по времени (с) истечения порции битума при определенной температуре битума и диаметре отверстия прибора. При действии на иглу груза массой 100 г в течение 5 с при температурах 25 и 0°С глубину проникания определяют на специальном приборе — пенетрометре (рис. 14.1). Она выражается в градусах ($1^\circ = 0,1$ мм) и обозначается П₂₅ (индекс показывает температуру материала во время испытания).

Пластичность вязких битумов характеризует растяжимость, которую определяют с помощью дуктилометра (рис. 14.2). Испытаниям подвергают образцы битума в виде восьмерок стандартной формы и размеров. Показателем растяжимости битума служит величина деформации шейки образца в момент разрыва, выраженная в сантиметрах. Это испытание проводят при скорости растяжения 5 см/мин и температурах 25 и 0°С. Так же как и вязкость, пластичность битумов зависит от температуры, группового состава и характера структуры. Пластические свойства наблюдаются у битумов, содержащих значительное количество смол, оптимальное количество асфальтенов и масел и небольшое количество карбенов и карбоидов. Вязкие битумы, содержащие твердые парафины, при низких температурах имеют небольшую тягучесть.

Температура размягчения является важной оценкой свойств битумов и характеризует верхний температурный предел его применения. Определяют ее на приборе «кольцо и шар» (рис. 14.3). Латунное кольцо диаметром 16 мм и высотой 6,4 мм заполняют битумом, на поверхность последнего укладывают

шарик диаметром 9,5 мм и массой 3,5 г. Температуру размягчения определяют по температуре воды в приборе, когда битум размягчится и шарик опустится на нижнюю полочку этажерки.

Температура хрупкости характеризует нижний температурный предел применения битума. При этой температуре появляется первая трещина в тонком слое битума, нанесенном на стальную пластинку стандартного прибора при ее изгибе и распрямлении. Температурный интервал между температурой хрупкости и температурой размягчения называют температурным рабочим интервалом. Для учета огнеопасности при нагревании битума определяют температуру вспышки паров, выделяемых из битума при нагревании от прикосновения пламени.

Наряду с основными свойствами битумов, определяющими их марку, битумы характеризуются также другими показателями, например **устойчивостью битумов в водной среде**, которая обуславливается содержанием масел, смол и асфальтенов; **когезией, прочностью межмолекулярных связей; прилипанием битума к каменным материалам (адгезия)**, которая зависит от физико-химических свойств битумов); **погодостойчивостью битумов**, т. е. способностью противостоять воздействию атмосферным факторам в элементах сооружений.

Для строительных целей необходимо применять битумы, свойства которых соответствуют условиям их работы в строительных конструкциях. Физико-технические свойства нефтяных битумов приведены в табл. 14.1.

Жидкие битумы делят на три класса:

класс БГ – быстро-густеющие,
СГ – среднегустеющие и
МГ – медленногустеющие.

Битумы классов БГ и СГ получают в результате разбавления вязких битумов легкими разжижителями (керосином и т. п.). Битум класса МГ получают в остатке после перегонки нефти или разжижением вязких битумов масляными продуктами нефтяного или каменноугольного происхождения. Каждый класс в зависимости от вязкости делят на марки.

• **Дегти** представляют собой вязкие жидкости черного или бурого цвета, состоящие из углеводородов и их сернистых, азотистых и кислородных производных, получаемых конденсацией парообразных продуктов, образующихся при разложении органических материалов (каменного угля, торфа, древесины и др.) в условиях высокой температуры без доступа воздуха. Процесс этот называется сухой деструктивной перегонкой, при которой химическая структура перегоняемого вещества полностью изменяется.

По исходному сырью дегти делят на каменноугольные, торфяные, древесные и сланцевые, а в зависимости от метода переработки сырья — на коксовые и газовые. В строительстве наибольшее значение имеют каменноугольные дегти, которые являются побочным продуктом процессов коксования и газификации каменного угля. Наибольшее развитие получают материалы на основе битумов, а соответственно сокращается использование материалов на основе дегтевых композиций.

• **Каменноугольные дегти** в зависимости от температуры коксования делят на *высокотемпературные*, получаемые в результате коксования исходного сырья при температуре 900...1100°C, *низкотемпературные*, получаемые в результате полукоксования при температуре 500...700°C, и *газовые* — при газификации топлива в производстве светильного газа.

При разложении каменного угля образуются *сырые* дегти, которые непосредственно для производства строительных материалов не применяются. В них содержится значительное количество летучих составных частей, которые даже при слабом нагревании испаряются, что приводит к изменению первоначальных свойств строительных материалов (возникает хрупкость). Из сырого дегтя отгоняют легкие и средние масла, в результате чего получают так называемый отогнанный деготь.

Составные части дегтя отгоняют при различных температурах: при температуре до 170°C отделяется легкое масло, при 170...270°C - среднее, при 270...300°C - тяжелое и при 300...360°C; - антраценовое масло. После окончания отгонки масел получают твердое вещество черного цвета, называемое пеком. Антраценовое масло представляет собой жидкую, иногда маслоподобную зеленовато-желтую массу с запахом ввиду наличия в нем фенолов и сернистых соединений.

Сырой деготь (каменноугольная смола), каменноугольные пек и масло характеризуются следующими физико-механическими показателями: смола каменноугольная в своем составе содержит до 7% свободного углерода, до 4% воды и до 10% нафталина, при 80°C обладает вязкостью 2,5...4,5 с; пек каменноугольный производят двух марок: среднетемпературный и высокотемпературный, отличаются указанные виды пеков главным образом температурой размягчения, содержанием свободного углерода, воды и нерастворимых в бензоле веществ; масло каменноугольное характерно большим содержанием — до 70% тяжелых фракций, отгоняемых в интервале температур 275... 360°C, до 0,3% нерастворимых в бензоле веществ и до 1,5% воды. Составленный деготь получают сплавлением пека с дегтевыми маслами или обезвоженными сырыми дегтями.

Дегти каменноугольные дорожные получают при коксовании угля или сплавлением пека каменноугольного с маслами или обезвоженным сырым дегтем.

По физико-механическим показателям смешанные дегти обладают относительно высоким содержанием нерастворимых в бензоле соединений — до 20% и водорастворимых соединений — 0,5...7%. По фракционному составу они имеют большое количество средних и тяжелых фракций в интервале температур 270...300°C. Характерным показателем смешанных дегтей является их вязкость. Наполненные дегти получают, вводя в составленные дегти

тонкоизмельченные материалы (известняк, доломит). Это производят для повышения вязкости, погодо- и температуро-стойкости дегтей.

• **Сланцевые дегти** получают при нагревании горючих сланцев без доступа воздуха в специальных генераторах или туннельных печах до 500...550°C, при этом выделяются газ, низкотемпературная смола в количестве 15...20% от массы сланца и полукокс. Низкотемпературную смолу разделяют на автомобильный бензин, тракторное и дизельное топливо и мазут как остаток после отгона всех фракций. Этот остаток составляет около 60% и используется как жидкий сланцевый деготь. Последний бывает шести марок, каждая марка его характеризуется в основном тремя показателями: вязкостью при температуре 25 и 60°C, фракционным составом и температурой вспышки.

Асфальтовыми и дегтевыми бетонами называют искусственный материал, получаемый в результате уплотнения специально подобранной смеси, состоящей из щебня (или гравия), песка минерального порошка, битума или дегтя и пека. Применяют их главным образом в дорожном строительстве.

• **Асфальтовые бетоны** в зависимости от вида каменного материала делят на: щебеночные, состоящие из гравия, песка или гравийно-песчаного материала, минерального порошка и битума и гравийные, состоящие из песка, минерального порошка и битума. В зависимости от температуры, при которой укладывают и уплотняют смесь в покрытие, и вязкости применяемого битума различают следующие разновидности асфальтовых бетонов: *горячие*, приготовляемые на вязких битумах марок БНД-90/130, БНД-60/90 и БНД-40/60, формирование структуры бетона в основном заканчивается в период уплотнения, температура при укладке должна быть 80...110°C; *теплые*, приготовляемые на битумах пониженной вязкости, марок БНД-200/300 и БНД-130/200 или жидких битумов марок БГ-70/130, формирование структуры также в основном заканчивается в период уплотнения; *холодные*, приготовляемые на жидких битумах марок СГ-70/130, укладываемые в покрытие после полного их остывания; формирование их структуры продолжается в течение 20...30 сут. К холодным относятся асфальтобетоны только на мелкозернистом или песчаном заполнителе.

По максимальной крупности зерен минерального материала асфальтовый бетон делят на: *крупнозернистый* с наибольшим размером зерен 40 мм, *среднезернистый* — 25 мм, *мелкозернистый* — 15 мм и *песчаный* — 5 мм.

По структурным признакам (плотности) асфальтовый бетон" может быть *плотный*, имеющий суммарную пористость 3...5% объема, и *крупнопористый* с пористостью 5...10% от объема.

Асфальтобетонную смесь готовят по следующей технологической схеме (рис. 14.4): минеральные материалы (щебень и песок) из открытых складов и минеральный порошок из закрытого склада подают в дозаторы, после чего отвешенный на один замес (массой 3...Д5 т) материал транспортером подают в бункер, откуда при открытии затвора он самотеком поступает во вращающийся барабан смесителя. Последний разделен на два отделения:

сушильное для просушивания и подогрева минеральных материалов до 170...190°C и смесительное для объединения минеральных материалов и расплавленного битума, поступающего через дозатор по трубам из

битумоплавильных котлов. На один цикл работы затрачивается 12... 15 мин. Производительность смесителя Д-138 при приготовлении крупнозернистой асфальтобетонной смеси составляет 90...110 т в смену.

Приготовленную асфальтобетонную смесь транспортируют в автосамосвалах и у места укладки загружают в асфальтоукладчик, который ровным по толщине слоем распределяет ее по подготовленному основанию. Распределенную по дорожному основанию смесь уплотняют катками массой 5...14 т или вибрационными моторными катками массой 0,5...4,5 т.

В строительстве более широко применяют асфальтобетон, так как он долговечнее дегтебетона. Крупнозернистый асфальтобетон используют для устройства нижнего слоя дорожного покрытия; среднезернистый — для устройства однослойных покрытий и верхнего слоя двухслойных покрытий; мелкозернистый, обладающий достаточно высокой сопротивляемостью механическим и атмосферным воздействиям, — для устройства покрытий с интенсивным движением и для верхнего слоя двухслойных покрытий; песчаный, обладающий повышенной пластичностью, — для покрытия полов в цехах промышленных зданий, тротуаров и покрытий дорог с легким движением.

Для устройства покрытий на дорогах облегченного типа используют мелкозернистые асфальтобетонные смеси холодного типа. Крупнозернистые холодные бетоны применяют для устройства оснований и нижнего слоя двухслойных покрытий. Холодные бетоны проще и дешевле в изготовлении и удобнее в укладке, особенно в сырую и холодную погоду, чем обычные асфальтовые бетоны.

В строительной практике наряду с горячими, теплыми и холодными асфальтовыми бетонами применяют также *литой асфальтобетон*. Уплотняют его в горячем состоянии утюгами или легкими (0,5... 1,5 т) катками. Литой асфальт используют в стесненных условиях, где нельзя использовать тяжелые катки и вибраторы, или при малых объемах работ (для устройства покрытий на тротуарах, плоских кровель, полов в складских и производственных помещениях, а также для гидроизоляции).

• **Дегтебетон** представляет собой материал, аналогичный асфальтобетону. В качестве вяжущего для его изготовления применяют каменноугольный деготь марок от Д-5 до Д-8 или деготь состоящий из каменноугольного пека, каменноугольного масла и сырого дегтя. Дегтебетон укладывают в горячем и холодном состоянии. В зависимости от крупности каменного материала дегтебетон делят на *крупно-, средне- и мелкозернистый*. Для приготовления *горячего* дегтебетона применяют те же минеральные материалы, что и для асфальтобетона, и требования предъявляются к ним аналогичные. Дегтебетонную смесь готовят в асфальтобетонных установках при температуре 100...130°С. Дегтебетон обладает меньшей водостойкостью, износостойкостью и теплостойкостью, чем асфальтобетон, менее пластичен, поэтому больше деформируется в холодное время. Применяют дегтебетон преимущественно для дорог III категории и для ремонта.

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 синструкцией 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 12 Определение марки битума по основным характеристикам (пенетрации, температуры размягчения, растяжимости)

Задание: определить марку битума по ее характеристики пенетрации, температуры размягчения, величине растяжимости или дуктильности

Цель: ознакомиться с понятиями *пенетрация, температура размягчения и растяжимость*, научиться определять марку битума

Задание 1. Определение глубины проникания иглы

Методика: определение глубины проникания иглы в нефтяной битум при температуре 0 и 20 °С в соответствии с методикой ГОСТ МУ.

Заполнить таблицу рабочей тетради с оформлением вывода о марки испытанного материала.

Задание 2. Определение температуры размягчения битума

Методика: определение температуры размягчения нефтяного битума по четырем образцам в воде в соответствии с методикой ГОСТ МУ.

Заполнить таблицу рабочей тетради с оформлением вывода о марки испытанного материала.

Задание 3. Определение растяжимости(дуктильности) битума

Методика: определение растяжимости нефтяного битума по трем образцам в воде в соответствии с методикой ГОСТ МУ.

Заполнить таблицу рабочей тетради с оформлением вывода о марки испытанного материала.

Представить общий вывод по результатам выполнения 3 заданий. Написать марку битума, а также область его применения.

Контрольные вопросы

1. Что такое битум?
2. Что входит в состав битума
3. Составные части битума (четыре группы веществ)?
4. Виды битумов, используемых в строительстве
5. Способы получения битумов?
6. Что такое пластичность, дуктильность, пенетрация?
7. Как маркируются битумы?

Рекомендуемая литература

17. Рыбьев, И.А. Строительное материаловедение [Текст]: учебное пособие для бакалавров/ И.А.Рыбьев. – 4-е изд. – М.: Издательство Юрайт, 2012. – 701 с. – Серия: Бакалавр – ISBN 978-5-9916-9

18. Строительные материалы [Текст]: учебник для студ. учреждений высш. Проф. образования / Л.А. Алимов, В.В. Воронин. –М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 320 с. – ISBN: 978-5-7695-8336-0

19. Микульский, В. Г. Строительные материалы (Материаловедение. Строительные материалы) [Текст]: учебник/ В. Г. Микульский, Г. И. Горчаков, В. В. Козлов и др.; под ред. В. Г. Микульского и В. В. Козлова. – М. : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2004. – 536 с. – ISBN 5-93093-041-4

20. Попов, К. Н. Строительные материалы и изделия [Текст]: учебник / К.Н. Попов, М.Б. Каддо. – М.: Высшая школа, 2001. – 367 с. – ISBN5-06-003799-1
21. Фетисов, Г. П. Материаловедение и технология металлов [Текст]: учебник для вузов / Г. П. Фетисов, М. Г. Карпман, В. М. Матюнин и др.; под ред. Г. П. Фетисов – М. : Высшая школа, 2000. – 638 с. – ISBN: 5-06-004418-1
22. Невского, В.А. Строительное материаловедение [Текст]: учебное пособие / под общ. ред. В.А.Невского. – Изд. 3-е, доп. и перераб. – Ростов н/Д: Феникс, 2010. – 588 с. – ISBN: 978-5-222-17506-4
23. Ковалев Я.Н. Строительные материалы [Текст]: Лабораторный практикум / Я.Н. Ковалев, Г.С. Галузо, А.Э. Змачинский, Т.А. Чистова; под ред. проф. Я.Н. Ковалев – М. : Издательский центр « НИЦ Инфра-М, Новое знание», 2015. – 633 с. – ISBN: 978-5-16-006406-2
24. Барабанщиков Ю.Г. Строительные материалы и изделия [Текст]: учебник для учреждений сред. Проф. образования/ Ю.Г. Барабанщиков.– 4-е изд.,стер.–М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 416 с. – ISBN: 978-5-7695-9859-3

Раздел 1. Строительные материалы и изделия

Тема 1.4. Бетоны и растворы. Железобетон. Металлы и сплавы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «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 построеного 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 термоустойчивыми.

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 приготавливают на жидких нефтяных дорожных битумах марок СГ 70/130, СГ 130/200, МГ 130/200, МГО70/130, 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 отсевов 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, отсеб дробления и их смеси То же То же 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 _х | Св. 40 до 50 | Природный, отсеб дробления и их смеси То же То же, что для типов Г и Д |
| В _х | Св. 30 до 40 | |
| Г _х , Д _х | 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 _х , В _х | I, II |
| Г _х | I, II |
| Д _х | 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 группфракций;

– 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, морозозащитных, 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 – Rс 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 откосы 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:

$$\frac{q_2}{q_1} = \frac{q_3}{q_2} = \dots = \frac{q_n}{q_{n-1}} = K = 0,65 \dots 0,90. \quad (2)$$

K- 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 $q_1 (1 + K + K^2 + K^3 + \dots + K^{n-1}) = 100\%$

И Л И

$$q_1 = \frac{1-K}{1-K^n} 100. \quad (3)$$

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

$$X = 3,32 Iq \frac{d_{\sigma}}{d_x} m, \quad (5)$$

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/м³ _____
 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/м³ _____
 Плотность насыпная, кг/м³ _____
 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/см³ _____

Показатель битумоемкости, г/100 см³ 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 _i | | | | | | |

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, °С _____

Температура вспышки, °С _____

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. 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/м³, в принятое объемное соотношение их необходимо вносить поправки. Поправочный коэффициент

$$P_x = \rho_x / \rho_э \quad (9)$$

где P_x – поправочный коэффициент

ρ_x – плотность материала, кг/м³

$\rho_э$ – плотность эталонного материала, кг/м³.

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- ный порошок | | | | | | | | | | | | |
| Частные 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 $A^5_{рек}$ для щебня или $P_{рек}^{0.071}$ 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 кубках 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 $\nu = 13,5 \%$. При указанных значениях t и ν расчетную кубиковую прочность определяют по формуле

$$R_m = B / 0,0778, \quad (14)$$

где B назначается в МПа, а R_m в кгс/см², 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. $\nu > 13,5 \%$, 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

$$S_m = \frac{W_m}{\alpha}, \quad (16)$$

где Wm – размах единичных значений прочности бетона в контролируемой партии, определяемый как разность между максимальным и минимальным единичными значениями прочности, МПа; α – коэффициент, зависящий от числа единичных значений n и принимаемый по табл. 8.

Таблица 8 – Значения коэффициента α

| | | | | | |
|--------------------------------|------|------|------|------|-----|
| Число единичных значений n | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Значение коэффициента α | 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?

Рекомендуемая литература

1. Рыбьев, И.А. Строительное материаловедение [Текст]: учебное пособие для бакалавров/ И.А.Рыбьев. – 4-е изд. – М.: Издательство Юрайт, 2012. – 701 с. – Серия: Бакалавр – ISBN 978-5-9916-9
2. Строительные материалы [Текст]: учебник для студ. учреждений высш. Проф. образования / Л.А. Алимов, В.В. Воронин. – М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 320 с. – ISBN: 978-5-7695-8336-0
3. Микульский, В. Г. Строительные материалы (Материаловедение. Строительные материалы) [Текст]: учебник/ В. Г. Микульский, Г. И. Горчаков, В. В. Козлов и др.; под ред. В. Г. Микульского и В. В. Козлова. – М. : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2004. – 536 с. – ISBN 5-93093-041-4
4. Попов, К. Н. Строительные материалы и изделия [Текст]: учебник / К.Н. Попов, М.Б. Каддо. – М.: Высшая школа, 2001. – 367 с. – ISBN 5-06-003799-1
5. Фетисов, Г. П. Материаловедение и технология металлов [Текст]: учебник для вузов / Г. П. Фетисов, М. Г. Карпман, В. М. Матюнин и др.; под ред. Г. П. Фетисов – М. : Высшая школа, 2000. – 638 с. – ISBN: 5-06-004418-1
5. Невского, В.А. Строительное материаловедение [Текст]: учебное пособие / под общ. ред. В.А.Невского. – Изд. 3-е, доп. и перераб. – Рстов н/Д: Феникс, 2010. – 588 с. – ISBN: 978-5-222-17506-4
6. Ковалев Я.Н. Строительные материалы [Текст]: Лабораторный практикум / Я.Н. Ковалев, Г.С. Галузо, А.Э. Змачинский, Т.А. Чистова; под ред. проф. Я.Н. Ковалев – М. : Издательский центр « НИЦ Инфра-М, Новое знание», 2015. – 633 с. – ISBN: 978-5-16-006406-2
7. Барабанщиков Ю.Г. Строительные материалы и изделия [Текст]: учебник для учреждений сред. Проф. образования/ Ю.Г. Барабанщиков.– 4-е изд., стер.–М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 416 с.

Раздел 1. Строительные материалы и изделия

Тема 1.4. Бетоны и растворы. Железобетон. Металлы и сплавы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «Определение физико-механических свойств асфальтобетона»

Цель работы: научиться определять физико-механические характеристики асфальтобетона, научиться определять соответствие материала требованиям нормативных стандартов ГОСТ ТУ.

Теоретическая часть

Прочность и устойчивость асфальтобетона в покрытии. Основными физико-механическими свойствами асфальтобетона в слоях, одежды являются:

- **прочность** асфальтобетона при различных температурах (0 °С, 20 °С, 50°С), характеризующая сопротивление сжимающим силовым воздействиям при различных температурах;
- **водостойкость**, характеризующая потерю прочности асфальтобетона при водонасыщении;
- **водонасыщение**, характеризующее остаточную пористость материала;
- **сдвигоустойчивость**, характеризующая способность сопротивляться касательным напряжениям;
- **трещиностойкость**, характеризующая сопротивление растягивающим силовым воздействиям при низких температурах.

Для реализации этих свойств асфальтобетона ГОСТ 9128-97 с изменением № 2 от 11.06.2002 г. предусматривает показатели для асфальтобетонов, приведенные в табл. 7.

Показатели физико-механических свойств должны соответствовать требованиям ГОСТ 9128-97

Однородность горячих смесей оценивается коэффициентом вариации предела прочности при сжатии при температуре 50°С, а холодных смесей — коэффициентом вариации водонасыщения, которые должны соответствовать требованиям табл. 9 ГОСТ 9128-97. Методы определения показателей свойств асфальтобетона изложены в ГОСТ 12801-98.

Выбор конструкции дорожной одежды с учетом сдвигоустойчивости и трещиностойкости. Представленные в табл. 2 расчётные толщины слоев дорожной одежды зависят от климатических условий зоны строительства и интенсивности расчетных транспортных нагрузок (количество расчетных автомобилей категории А в сутки на полосу движения).

Толщины слоев асфальтобетонного покрытия меняются мало:

- у двухслойного покрытия на двухслойном основании — верхний слой в пределах от 3,5-4 см до 4-5 см, нижний слой в пределах 5-

6 см;

- у двухслойного покрытия на однослойном основании — верхний слой в пределах от 3,5-4 см до 4-5 см, нижний слой в пределах 4-6 (5) см до 8 см;
- у однослойного покрытия на двухслойном основании — слой покрытия не меняется — 5 см.

Толщины слоев основания изменяются в широких пределах, так как применяемые в слоях основания различные материалы имеют очень разные модули упругости, а также очень зависят от условий работы дорожной одежды (тип местности, тип увлажнения, толщина песчаного дополнительного слоя).

Решающими факторами выбора конструкции из нескольких равнопрочных является их стоимость в данном регионе, для которого конструкция дорожной одежды выбирается.

Таблица 14.1 – Показатели физико-механических свойств асфальтобетонов

| Показатели свойств асфальтобетонов | Значения для асфальтобетонов марки | | | | | | | | |
|--|------------------------------------|--------|------|------|--------|------|------|--------|------|
| | I | | | II | | | III | | |
| | для дорожно-климатических зон | | | | | | | | |
| | I | II-III | IV-V | I | II-III | IV-V | I | II-III | IV-V |
| Предел прочности при сжатии при температуре 50°C, МПа, не менее, для асфальтобетонов типов: | | | | | | | | | |
| высокоплотных | 1,0 | 1,1 | 1,2 | - | - | - | - | - | - |
| плотных: | | | | | | | | | |
| А | 0,9 | 1,0 | 1,1 | 0,8 | 0,9 | 1,0 | - | - | - |
| Б | 1,0 | 1,2 | 1,3 | 0,9 | 1,0 | 1,2 | 0,8 | 0,9 | 1,1 |
| В | - | - | - | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,0 | 1,1 | 1,2 |
| Г | 1,1 | 1,3 | 1,6 | 1,0 | 1,2 | 1,4 | 0,9 | 1,0 | 1,1 |
| Д | - | - | - | 1,1 | 1,3 | 1,5 | 1,0 | 1,1 | 1,2 |
| Предел прочности при сжатии при температуре 20°C для асфальтобетонов всех типов, МПа, не менее | 2,5 | 2,5 | 2,5 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,0 | 2,0 | 2,0 |
| Предел прочности при сжатии при температуре 0°C для асфальтобетонов всех типов, МПа, не более | 9,0 | 11,0 | 13,0 | 10,0 | 12,0 | 13,0 | 10,0 | 12,0 | 13,0 |
| Водостойкость не менее: | | | | | | | | | |
| плотных асфальтобетонов (после вакуума) | 0,95 | 0,9 | 0,85 | 0,9 | 0,85 | 0,8 | 0,85 | 0,75 | 0,7 |
| высокоплотных асфальтобетонов (после вакуума) | 0,95 | 0,95 | 0,9 | - | - | - | - | - | - |
| плотных асфальтобетонов при длительном водонасыщении | 0,95 | 0,85 | 0,75 | 0,85 | 0,75 | 0,7 | 0,75 | 0,65 | 0,6 |
| высокоплотных асфальтобетонов при длительном водонасыщении | 0,95 | 0,90 | 0,85 | - | - | - | - | - | - |
| Водонасыщение для асфальтобетонов (образцов из смеси / вырубков и кернов), не более: | | | | | | | | | |
| высокоплотных | 1,0-2,5/3,0 | | | | | | | | |
| плотных типов | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|--|------|------|-------------|------|------|------|------|------|------|
| А | | | 2,0-5,0/5,0 | | | | | | |
| Б, В и Г | | | 1,5-4,0/4,5 | | | | | | |
| Д | | | 1,0-4,0/4,0 | | | | | | |
| Сдвигоустойчивость по: | | | | | | | | | |
| коэффициенту внутреннего трения, не менее, для асфальтобетонов типов: | | | | | | | | | |
| высокоплотных | 0,86 | 0,87 | 0,89 | 0,86 | 0,87 | 0,89 | - | - | - |
| плотных: | | | | | | | | | |
| А | 0,86 | 0,87 | 0,89 | 0,86 | 0,87 | 0,89 | - | - | - |
| Б | 0,80 | 0,81 | 0,83 | 0,80 | 0,81 | 0,83 | 0,79 | 0,80 | 0,81 |
| В | - | - | - | 0,74 | 0,76 | 0,78 | 0,73 | 0,75 | 0,77 |
| Г | 0,78 | 0,80 | 0,82 | 0,78 | 0,80 | 0,82 | 0,76 | 0,78 | 0,80 |
| Д | - | - | - | 0,64 | 0,65 | 0,70 | 0,62 | 0,64 | 0,66 |
| сцеплению при сдвиге при температуре 50°С, МПа, не менее, для | | | | | | | | | |
| асфальтобетонов типов: | | | | | | | | | |
| высокоплотных | 0,25 | 0,27 | 0,30 | - | - | - | - | - | - |
| плотных: | | | | | | | | | |
| А | 0,23 | 0,25 | 0,26 | 0,22 | 0,24 | 0,25 | - | - | - |
| Б | 0,32 | 0,37 | 0,38 | 0,31 | 0,35 | 0,36 | 0,29 | 0,34 | 0,36 |
| В | - | - | - | 0,37 | 0,42 | 0,44 | 0,36 | 0,40 | 0,42 |
| Г | 0,34 | 0,37 | 0,38 | 0,33 | 0,36 | 0,37 | 0,32 | 0,35 | 0,36 |
| Д | - | - | - | 0,47 | 0,54 | 0,55 | 0,45 | 0,48 | 0,50 |
| Трещиностойкость по пределу прочности на растяжение при расколе при температуре 0°С и скорости деформирования 50 мм/мин для асфальтобетонов всех типов, МПа: | | | | | | | | | |
| не менее | 3,0 | 3,5 | 4,0 | 2,5 | 3,0 | 3,5 | 2,0 | 2,5 | 3,0 |
| не более | 5,5 | 6,0 | 6,5 | 6,0 | 6,5 | 7,0 | 6,6 | 7,0 | 7,5 |

Примечание. При использовании полимерно-битумных вяжущих допускается снижать нормы к сцеплению при сдвиге и пределу прочности на растяжение при расколе на 20 %.

Дополнительными, очень важными с точки зрения обеспечения прочности и надежности дорожной одежды факторами, определяющими выбор материалов и толщин слоев дорожной одежды, являются: сдвигоустойчивость асфальтобетона и других материалов с использованием органических вяжущих в слоях дорожной одежды; трещиностойкость слоев покрытия и основания.

Основное влияние на сдвигоустойчивость и трещиностойкость дорожной одежды и ее слоев оказывают климатические условия ее работы. Данные по климатическим условиям и ожидаемым температурам асфальтобетонного покрытия для ряда городов Российской Федерации (по СНиП 23-01-99), входящих территориально в различные дорожно-климатические зоны (ДКЗ) по СНиП 2.05.02 -85, приведены в табл. 8, из

которых видно, что температуры воздуха (наиболее холодной пятидневки и абсолютной) для этих городов зависят, главным образом, от расположения в приморском, континентальном или резкоконтинентальном регионах.

Таблица 8

| Дорожно-климатические зоны по СНиП 2.05.02 -85 | Города, входящие в зоны (примеры) | Климатические условия по СНиП 23-01 -99 | | | | Ожидаемые температуры асфальтобетонного покрытия, °С | | |
|--|-----------------------------------|---|---|------------------------------------|--------------|--|--------------|-----------------------------|
| | | температура воздуха наиболее холодной пятидневки, °С обеспеченностью 0,98 | температура воздуха теплого периода, °С, обеспеченностью 0,98 | абсолютная температура воздуха, °С | | минимальные | максимальные | диапазон рабочих температур |
| | | | | минимальная | максимальная | | | |
| I | Мурманск | -29 | 15,8 | -39 | 33 | -34 | 35 | 69 |
| | Салехард | -43 | 16,3 | -54 | 31 | -48 | 36 | 84 |
| | Якутск | -57 | 22,8 | -64 | 38 | -60 | 47 | 107 |
| II | Архангельск | -34 | 19,6 | -45 | 34 | -36 | 36 | 72 |
| | Москва | -30 | 22,6 | -42 | 37 | -34 | 37 | 71 |
| | Тюмень | -42 | 21,6 | -50 | 38 | -46 | 48 | 94 |
| III | Казань | -36 | 23,5 | -47 | 38 | -38 | 48 | 86 |
| | Омск | -39 | 23,3 | -49 | 40 | -44 | 50 | 94 |
| | Новосибирск | -42 | 22 | -50 | 38 | -46 | 50 | 96 |
| IV | Саратов | -30 | 25,1 | -37 | 41 | -34 | 38 | 72 |
| | Оренбург | -34 | 26,1 | -43 | 42 | -38 | 60 | 98 |
| V | Астрахань | -24 | 28,4 | -33 | 40 | -34 | 50 | 84 |
| | Элиста | -25 | 32 | -34 | 43 | -34 | 64 | 98 |

Можно выделить регионы.

По температурам воздуха для холодного периода (воздуха наиболее холодной пятидневки, воздуха абсолютной оптимальной):

регионы с малой низкотемпературной нагрузкой (Мурманск, Архангельск, Москва, Казань, Саратов, Оренбург, Астрахань, Элиста) — ожидаемая критическая температура покрытия равна минус (34...39) °С;

регионы со средней низкотемпературной нагрузкой (Салехард, Тюмень, Омск, Новосибирск) — ожидаемая критическая температура покрытия равна минус (44...48) °С;

регионы с большой низкотемпературной нагрузкой (Якутск) — ожидаемая критическая температура покрытия равна минус (60...62) °С.

По температурам воздуха для теплого периода (воздуха теплого периода, воздуха абсолютная максимальная, суточная амплитуда наиболее теплого периода):

регионы с малой высокотемпературной нагрузкой (Мурманск,

Салехард, Архангельск, Москва, Саратов) — ожидаемая критическая температура покрытия равна плюс (35...38) °С;

регионы со средней высокотемпературной нагрузкой (Якутск, Тюмень, Казань, Омск, Новосибирск, Астрахань) — ожидаемая критическая температура покрытия равна плюс (47...50) °С;

регионы с большой высокотемпературной нагрузкой (Оренбург, Элиста) — ожидаемая критическая температура покрытия равна плюс (60...64) °С

Основными факторами, влияющими на сдвигоустойчивость асфальтобетона в покрытии, являются: температура размягчения вяжущего при высоких температурах; содержание щебня в асфальтобетоне; содержания минерального порошка; устойчивость материалов слоев основания под действием многократно повторяющихся нагрузок и способность слоя основания снижать напряжение от этих нагрузок на нижележащие слои (плитный эффект).

Основными факторами, влияющими на трещиностойкость асфальтобетонного покрытия, являются: температура хрупкости вяжущего при низкой температуре; оптимальное содержание минерального порошка; расширение рабочего диапазона температур битума за счет его модификации при вводе полимеров или каучуков; трещиностойкость слоев основания.

Наиболее важные для обеспечения сдвигоустойчивости и трещиностойкости асфальтобетона нормативные и фактические показатели свойств нефтяных дорожных битумов и полимерно-битумных вяжущих приведены в табл. 9.

Фактические показатели температур размягчения вяжущих на 2-3°С выше указанных требований, а с учетом работы битумов в асфальтобетоне в очень тонких пленках, а также структурирующего влияния минерального порошка могут быть приняты выше на 5-6°С

Фактические показатели температур хрупкости вяжущих на минус 3-4°С выше указанных требований, а с учетом особенностей работы битумов в асфальтобетоне и влияния минерального порошка могут быть приняты выше на минус 6-8°С Сравнение показателей табл. 8 и 9 говорит, что обеспечение сдвигоустойчивости и трещиностойкости асфальтобетонов в диапазоне рабочих температур является сложной проблемой. В связи с этим было принято изменение № 2 к ГОСТ 9128-97 от 11.06.2002 г., включающее требования к сдвигоустойчивости и трещиностойкости (см. табл. 7). Следует отметить, что на показатель коэффициента внутреннего трения больше всего влияет содержание в асфальтобетоне щебня, а на показатели сцепления при сдвиге и предел прочности на растяжение — свойства битума и оптимальное содержание минерального порошка. Как указано выше, значительное влияние на сдвигоустойчивость и трещиностойкость асфальтобетонного покрытия оказывает тип материала основания.

Таблица 14.1

| Показатели свойств вяжущих | Класс вяжущего | Значения показателей для вяжущих марок | | | | |
|--|----------------|--|---------|--------|-------|--------|
| | | 200/300 | 130/200 | 90/130 | 60/90 | 40/60 |
| Нормативная температура размягчения по кольцу и шару (КиШ), °С не ниже | ПБВ | 47/45 | 49/47 | 51/49 | 54/51 | 56/54 |
| | БНД | 35 | 40 | 43 | 47 | 51 |
| | БН | 30 | 38 | 41 | 45 | - |
| Нормативная температура хрупкости, °С, не выше | ПБВ | -35/40 | -30/35 | -25/30 | - | -15/20 |
| | БНД | -20 | -18 | -17 | 20/25 | -12 |
| | БН | -14 | -12 | -10 | -15 | - |
| Фактическая температура размягчения вяжущего в асфальтобетоне, °С | ПБВ | 53/51 | 55/53 | 57/55 | 60/57 | 62/60 |
| | БНД | 41 | 46 | 49 | 53 | 57 |
| | БН | 36 | 44 | 47 | 51 | 57 |
| Фактическая температура хрупкости вяжущего в асфальтобетоне, °С | ПБВ | -43/48 | -38/43 | -33/38 | - | -23/28 |
| | БНД | -28 | -26 | -25 | 28/33 | -20 |
| | БН | -22 | -22 | -18 | -23 | -10 |
| Максимальный обеспечиваемый диапазон рабочих температур, °С | ПБВ | 96/99 | 93/96 | 90/93 | 88/90 | 85/88 |
| | БНД | 69 | 72 | 74 | 76 | 77 |
| | БН | 58 | 64 | 65 | 65 | 67 |

Наилучшей работоспособностью обладают дорожные одежды с двухслойным асфальтобетонным покрытием и двухслойным основанием, в верхнем слое которого используются щебеночный асфальтобетон или щебеночные материалы, обработанные битумом или битумной эмульсией. Более склонны к прогибу и передаче напряжений на нижние слои основания из гравийного асфальтобетона и гравийных материалов, обработанных битумом или битумной эмульсией.

В нижнем слое двухслойного и однослойного основания используют: щебеночные, гравийные материалы и грунты, укрепленные минеральными вяжущими различной прочности; цементобетон различной прочности; щебень, уложенный по способу заклинки; подобранный щебеночный и гравийный материал.

Работоспособностью, с точки зрения уменьшения прогиба под действием колесной нагрузки (плитным эффектом), обладают нижние слои двухслойного и однослойного основания из щебеночных, гравийных материалов, укрепленных 5-7 % цемента, грунтов, укрепленных минеральными вяжущими I класса прочности, из тощего цементобетона марки 75, 100 и 125 (позиции 1-5, 16 разд. 18.2).

Меньшим плитным эффектом обладают слои из гравийных материалов, обработанных 4-5 % цемента, грунтов, укрепленных минеральными вяжущими, II класса прочности, а также щебеночные слои, выполненные по способу заклинки (позиции 6-10, 17 разд. 18.2).

Наихудшим плитным эффектом обладают слои из песков и золошлаков, укрепленных 5-6 % цемента, грунтов, укрепленных минеральными вяжущими, III класса прочности, а также подобранного щебеночного и гравийного материала (позиции 11-15, 18, 19 разд. 18.2).

Слои основания из щебеночных, гравийных материалов, укрепленных 5-7 % цемента, а еще более из цементобетона склонны к растрескиванию и образованию поперечных неорганизованных (хаотичных) трещин, особенно в период набора прочности (в течение 1-2 суток после укладки) и главным образом при большой амплитуде перепада температур воздуха (более 12° С) в этот период, что характерно для регионов с континентальным и резко континентальным климатом (Якутск, Оренбург, Элиста, а также Тюмень, Новосибирск, Саратов). На покрытиях, уложенных на такие основания, неизбежно возникают отраженные трещины, копирующие трещины в основаниях. Наилучшими показателями трещиностойкости обладают покрытия на щебеночных основаниях, выполненных по способу заклинки.

Для повышения трещиностойкости асфальтобетонного покрытия на основаниях из щебня, укрепленного цементом, и цементобетона, то есть для препятствия появлению отраженных трещин используют трещинопрерывающие прослойки между нижним и верхним слоем основания и армирующие прослойки между слоями асфальтобетонного покрытия. В качестве трещинопрерывающих прослоек используются геотекстильный материал, приклеиваемый к нижнему слою основания менее вязким битумом и более вязким битумом к верхнему слою основания.

В качестве армирующих прослоек используются геосетки, приклеиваемые вязким битумом к нижнему и верхнему слоям асфальтобетонного покрытия.

При ремонте и реконструкции автомобильных дорог, в покрытии которых проявились отраженные трещины, перед укладкой дополнительных слоев покрытия над трещиной укладывается трещинопрерывающая прослойка из геотекстиля.

Составы асфальтобетонных смесей, применяемые в различных эксплуатационных условиях. Проектируя состав асфальтобетонных смесей, необходимо прежде всего учитывать ожидаемую интенсивность и состав движения, также климатические условия района проложения дороги. При этом руководствуются следующими принципиальными положениями:

чем больше в смеси щебня, тем больше сдвигоустойчивость асфальтобетона. В южных районах России и районах с резко континентальным климатом при любой интенсивности движения, а в средней полосе России и в районах с континентальным климатом при тяжелом и интенсивном движении предпочтение следует отдавать применению смесей с высоким содержанием щебня;

чем меньше вязкость битума, тем больше трещиностойкость асфальтобетона, поэтому на Севере и в районах с резко континентальным

и континентальным климатом предпочтительнее применение битумов пониженной вязкости, а на юге — более вязких.

Наиболее эффективным и доступным средством регулирования плотности и прочности асфальтобетона является изменение содержания в нем минерального порошка в пределах, предусмотренных ГОСТ 9128-97.

Оптимальное количество битума в асфальтобетонной смеси определяют на основе испытаний пробных составов смесей с различным количеством битума и выбора такого его содержания, при котором обеспечивается наибольшая прочность асфальтобетона и остаточная пористость, нормированная стандартом.

Проектирование состава асфальтобетона состоит из двух этапов.

1 этап: назначение типа смеси из числа нормированных в ГОСТ 9128-97 (см. табл. 1);

выбор марки битума нормированного в ГОСТ 9128-97 (см. табл. 18.3) с учетом данных ГОСТ 22245-90 (см. табл. 18.9) и климатических условий региона применения асфальтобетона по СНиП 2.05.02 -85 и СНиП 23-01-99 (см. табл. 8);

выбор содержания минеральных материалов по ГОСТ 9128-97 (см. табл. 6) с проверкой расчетом соответствия зернового состава смеси выбранного типа требованиям данного стандарта; предварительный выбор содержания битума в смеси по таблице приложения Г ГОСТ 9128-97;

2 этап: проверка правильности выбора содержания битума производится на основе приготовления и испытаний 3-5 составов смесей по 24 образца в каждой (3 образца для определения каждого показателя табл. 7, нормируемых ГОСТ 9128-97). Испытания проводятся по ГОСТ 12801-98 «Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний».

Средняя плотность асфальтобетона. По ней вычисляют его остаточную пористость и среднюю плотность минеральной части. Среднюю плотность асфальтобетона определяют на образцах, изготовленных в лаборатории из запроектированной смеси, из пробы смеси, взятой из смесителя, или на образцах-вырубках (кернх) из дорожного покрытия.

Методика: Образцы взвешивают на воздухе, затем погружают на 30 мин в сосуд с водой, имеющей температуру (20 ± 2) °С. Затем образцы взвешивают в воде, температура которой должна быть (20 ± 2) °С, следя за тем, чтобы на образцах не было пузырьков воздуха. Образцы извлекают из воды, обтирают мягкой тканью и вторично взвешивают на воздухе.

Средняя плотность минеральной части (остова) асфальтобетона. Сущность метода заключается в определении плотности минеральной части уплотненной смеси с учетом имеющихся в ней пор. По ней вычисляют ее пористость. Среднюю плотность минеральной части (остова) асфальтобетона вычисляют по средней плотности асфальтобетона и массовому соотношению в нем минеральных материалов и битума с точностью до $0,01 \text{ г/см}^3$.

Истинная плотность минеральной части (остова) асфальтобетона. Сущность метода заключается в определении расчетным методом плотности минеральной части смеси без учета имеющихся в нем пор. По ней определяют ее пористость и истинную плотность асфальтобетона (дегтебетона) и смесей. Истинную плотность минеральной части (остова) асфальтобетона (дегтебетона) или смеси вычисляют по истинной плотности отдельных минеральных составляющих с точностью до $0,01 \text{ г/см}^3$.

Истинная плотность асфальтобетонной смеси и асфальтобетона. Сущность метода заключается в определении плотности смеси или асфальтобетона без учета имеющихся в ней пор. По истинной плотности асфальтобетона и смеси определяют остаточную пористость асфальтобетона. Истинную плотность асфальтобетона и смеси при проектировании его состава находят расчетом (I способ) или экспериментально (II способ), а для образцов асфальтобетона, отобранных из дорожного покрытия, и проб смесей, отобранных из смесителя, – только экспериментально (пикнометрическим методом).

Пористость асфальтобетона и его минеральной части (остова). Пористость асфальтобетона или его минеральной части определяется относительным объемом имеющихся в них пор. Пористость минеральной части (остова) асфальтобетона определяют расчетом на основании предварительно установленных значений средней и истинной плотностей минеральной части смеси.

Методика: Образцы из смесей, взвешенные на воздухе и в воде, помещают в сосуд с водой, температура которой $(20 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$. Сосуд с образцами устанавливают в вакуумную установку, где создают и поддерживают остаточное давление, равное 2000 Па (15 мм рт. ст.). В течение 1 ч при испытании образцов из горячих и теплых смесей, 30 мин — при испытании образцов из холодных смесей. Давление доводят до $94 \text{ 250} — 104 \text{ 150 Па}$ и выдерживают образцы в том же сосуде с водой при температуре $(20 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$ в течение 30 мин . Затем образцы взвешивают в воде, температура которой должна быть $(20 \pm 2) \text{ }^\circ\text{C}$. Образцы извлекают из воды, обтирают мягкой тканью и вторично взвешивают на воздухе.

Увеличение массы образца соответствует количеству поглощенной образцом воды.

Приращение массы образца, отнесенное к первоначальному объему образца, составляет его водонасыщение по объему (истинную плотность воды принимают равной 1 г/см^3).

Водонасыщение асфальтобетона. За характеристику водонасыщения образцов асфальтобетона принимают относительный объем воды, поглощенный образцом при определенном режимнасыщения.

Прочность асфальтобетона при сжатии. Предел прочности при сжатии – основная характеристика механической прочности асфальтобетона. Определяют предел прочности при сжатии а) сухих и водонасыщенных в вакууме образцов при температуре 20°C , б) сухих

образцов при температуре 50 °С и 0 °С, в) выдержанных в воде в течение 15 сут образцов при температуре 20 °С.

Коэффициент водостойкости асфальтобетона. Коэффициент водостойкости асфальтобетона характеризует степень снижения его прочности после насыщения водой.

Его вычисляют с точностью до 0,01.

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 14

Определить физико-механические свойства асфальтобетона

Задание: определение физико-механических характеристик асфальтобетона и умение формулировать вывод о соответствии или не соответствии дорожного асфальтобетона требованиям нормативной литературы ГОСТ ТУ.

Цель: изучить методики оценки качества асфальтобетона, позволяющий обосновать состав асфальтобетонной смеси с учетом назначения конструктивного слоя, состава, грузонапряженности и интенсивности дорожного движения и климатических условий района строительства.

Задание 1. Определить прочность асфальтобетона

Методика: Определение прочности асфальтобетона при различных температурах в соответствии с требованиями ГОСТ ТУ.

Формулировка вывода о соответствии асфальтобетона требованиям ГОСТ ТУ по физико-механическим и эксплуатационным показателям.

Задание 2. Определить сдвигоустойчивость асфальтобетона

Методика: Определение сдвигоустойчивости асфальтобетона в соответствии с требованиями ГОСТ ТУ.

Формулировка вывода о соответствии асфальтобетона требованиям ГОСТ ТУ по физико-механическим и эксплуатационным показателям.

Задание 3. Определить прочности на раскол образцов асфальтобетона

Методика: Определение прочности на раскол асфальтобетона в соответствии с требованиями ГОСТ ТУ.

Формулировка вывода о соответствии асфальтобетона требованиям ГОСТ ТУ по физико-механическим и эксплуатационным показателям.

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?

Рекомендуемая литература

1. Рыбьев, И.А. Строительное материаловедение [Текст]: учебное пособие для бакалавров/ И.А.Рыбьев. – 4-е изд. – М.: Издательство Юрайт,

2012. – 701 с. – Серия: Бакалавр – ISBN 978-5-9916-9

2. Строительные материалы [Текст]: учебник для студ. учреждений высш. Проф. образования / Л.А. Алимов, В.В. Воронин. – М.: Издательский центр «Академия», 2012. – 320 с. – ISBN: 978-5-7695-8336-0

3. Микульский, В. Г. Строительные материалы (Материаловедение. Строительные материалы) [Текст]: учебник/ В. Г. Микульский, Г. И. Горчаков, В. В. Козлов и др.; под ред. В. Г. Микульского и В. В. Козлова. – М. : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2004. – 536 с. – ISBN 5-93093-041-4

4. Попов, К. Н. Строительные материалы и изделия [Текст]: учебник / К.Н. Попов, М.Б. Каддо. – М.: Высшая школа, 2001. – 367 с. – ISBN 5-06-003799-1

5. Фетисов, Г. П. Материаловедение и технология металлов [Текст]: учебник для вузов / Г. П. Фетисов, М. Г. Карпман, В. М. Матюнин и др.; под ред. Г. П. Фетисов – М. : Высшая школа, 2000. – 638 с. – ISBN: 5-06-004418-1

5. Невского, В.А. Строительное материаловедение [Текст]: учебное пособие / под общ. ред. В.А.Невского. – Изд. 3-е, доп. и перераб. – Рстов н/Д: Феникс, 2010. – 588 с. – ISBN: 978-5-222-17506-4

6. Ковалев Я.Н. Строительные материалы [Текст]: Лабораторный практикум / Я.Н. Ковалев, Г.С. Галузо, А.Э. Змачинский, Т.А. Чистова; под ред. проф. Я.Н. Ковалев – М. : Издательский центр « НИЦ Инфра-М, Новое знание», 2015. – 633 с. – ISBN: 978-5-16-006406-2

7. Барабанщиков Ю.Г. Строительные материалы и изделия [Текст]: учебник для учреждений сред. Проф. образования/ Ю.Г. Барабанщиков.– 4-е изд.,стер.–М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 416 с. – ISBN: 978-5-7695-9859-3