

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»  
(ФГБОУВО «ВГТУ»)

**В.Т. Перцев, С.П. Козодаев, Т.Ф. Ткаченко, С.М. Усачев**

## **ТЕХНОЛОГИЯ БЕТОНА, СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ**

*Учебное пособие*

для студентов очной и заочной форм обучения  
направления 08.03.01 «Строительство» профиль «Производство  
и применение строительных материалов, изделий и конструкций»  
и студентов очной формы обучения направления  
22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»  
профиль «Перспективные технологии и экспертиза качества строительных  
материалов», «Экспертиза качества строительных материалов»

**Воронеж 2021**

УДК 666.972(075)

ББК 38.33я 73

Т 384

*Авторский коллектив:*

*В.Т. Перцев, С.П. Козодаев, Т.Ф. Ткаченко, С.М. Усачев*

**Т 384 Технология бетона, строительных изделий и конструкций:**  
учебное пособие для студентов очной и заочной форм обучения направлений 08.03.01 «Строительство» и 22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов» - 2-е издание, дополненное / В.Т. Перцев, С.П. Козодаев, Т.Ф. Ткаченко, С.М. Усачев: Воронеж, ВГТУ, 2021. - 123 с.

Представлены лабораторные работы по дисциплинам «Технология бетона, строительных изделий и конструкций» и «Технология строительных композитов неорганического происхождения», охватывающие разделы «Бетонovedение», «Заводская технология бетона», «Надежность и долговечность бетонных и железобетонных изделий и конструкций» и «Основы технологии монолитных бетонов».

Лабораторный практикум содержит 24 лабораторные работы, каждая из которых включает название, цель, краткие теоретические сведения, методику и результаты выполнения, анализ результатов, выводы и контрольные вопросы. Значительная часть лабораторных работ носит исследовательский характер и посвящена изучению свойств бетонной смеси и бетонов, проектированию оптимальных составов бетонов, технологических процессов получения бетона (перемешивания, уплотнения и твердения) и других.

Ил. 33. Табл. 53. Библиогр.: 37 назв.

УДК 666.972(075)

ББК 38.33я 73

*Рецензенты:*

*Утверждено учебно-методическим советом  
университета в качестве учебного пособия*

© Перцев В.Т., Козодаев С.П.,  
Ткаченко Т.Ф., Усачев С.М. 2018  
© ВГТУ, 2018

## ВВЕДЕНИЕ

Лабораторный практикум по курсам «Технология бетона, строительных изделий и конструкций», «Основы технологии монолитных бетонов», «Надежность и долговечность строительных изделий и конструкций», «Технология строительных композитов гидратационного твердения» и «Технология неорганических строительных композитов» решает задачи закрепления теоретических знаний в области неорганических строительных композитов, технологии бетонов, развития практических навыков по изучению свойств сырьевых материалов и бетонных смесей, освоения методов управления свойствами бетонных смесей и бетонов, методик проектирования оптимальных составов бетонов и контроля их качества, изучения особенностей основных технологических процессов применительно к заводскому изготовлению железобетонных изделий и технологии монолитного бетона, освоения основных методик оценки надежности и долговечности строительных изделий и конструкций.

В предлагаемом цикле лабораторных работ студент должен:

- закрепить полученные теоретические знания;
- изучить основные закономерности взаимосвязи состава, структуры и свойств бетонной смеси и бетона, в том числе с модифицирующими добавками;
- овладеть практическими навыками испытания сырьевых материалов для изготовления бетона и железобетона;
- освоить методы проектирования оптимальных составов бетонов с заданными свойствами;
- овладеть методикой статистического контроля прочности бетона;
- изучить методики определения основных показателей свойств арматурных сталей;
- овладеть способами оценки напряженно-деформируемого состояния бетонных и железобетонных конструкций;
- овладеть знаниями основных переделов технологии монолитного бетонирования: приготовления бетонной смеси, ее транспортирования, подачи, уплотнения и ухода за бетоном;
- овладеть методиками оценки надежности и долговечности бетонных и железобетонных изделий и конструкций.

Подготовка к каждой лабораторной работе включает изучение теоретического материала в соответствии с представленным в лабораторном практикуме перечнем контрольных вопросов.

По выполненным лабораторным работам составляется отчет, который защищается перед преподавателем. В отчете требуется представить: название работы; цель работы; методику выполнения и результаты работы в виде необходимых расчетов, таблиц, графических зависимостей; выводы.

В раздел «Бетонведение» входят лабораторные работы № 1-8; в раздел «Заводская технология» - лабораторные работы № 9-12; в раздел «Надежность и долговечность строительных изделий и конструкций» входят ла-

бораторные работы № 13-21; в раздел «Основы технологии монолитных бетонов» - лабораторные работы № 22-24.

## Раздел «БЕТОНОВЕДЕНИЕ»

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ БЕТОНОВ

#### 1.1. Цель работы

1. Ознакомление с требованиями, предъявляемыми к сырьевым материалам для бетонов.
2. Освоение стандартных методов испытаний сырьевых материалов.

#### 1.2. Краткие теоретические сведения

Бетонами называются искусственные каменные материалы, получаемые в результате затвердевания тщательно перемешанной и уплотненной смеси из вяжущего вещества и воды, мелкого и крупного заполнителя, взятых в определенных соотношениях. До затвердевания эту смесь называют бетонной смесью [1, 2].

Свойства бетона в первую очередь определяются качеством исходных сырьевых материалов: цемента, кварцевого песка, щебня и добавок.

Цемент и вода являются активными составляющими бетона; в результате химических реакций между ними образуется цементный камень, скрепляющий зерна мелкого и крупного заполнителя в единый монолит.

Наиболее широкое распространение в производстве бетона получили портландцемент и шлакопортландцемент. Портландцементом называют клинкерный цемент, не содержащий в своем составе минеральных добавок кроме гипса. Наиболее распространенными цементами 60 % от общего объема выпускаемых цементов являются портландцементы с добавками минеральных веществ, в частности шлака - шлакопортландцемент. Они применяются для изготовления большинства монолитных и сборных железобетонных конструкций. Шлакопортландцемент отличается от портландцемента при одинаковом химическом и минералогическом составе клинкера более медленным схватыванием и твердением. При тепловлажностной обработке твердение шлакопортландцемента ускоряется в большей степени, чем у обычного портландцемента, что обуславливает его высокую эффективность в производстве сборного железобетона. В строительстве применяют цементы классов 22,5; 32,5; 42,5; 52,5 или марок М300, М400, М500, М600.

Заполнители занимают более 80 % объема бетона. Их роль в бетоне: сокращение расхода вяжущего, придание бетону таких свойств, как малая усадка, снижение мгновенных деформаций при нагружении, уменьшение необратимых деформаций – ползучести - при длительном нагружении, снижение проницаемости и повышение долговечности бетона.

Различают крупный и мелкий заполнитель. Крупный заполнитель, представленный гравием или щебнем из осадочных, изверженных, метаморфических пород, а также техногенных отходов, обеспечивает создание жест-

кого объемного «скелета» бетона. Размеры частиц крупного заполнителя изменяются в интервале от 5 до 70 мм\*. Крупный заполнитель разделяют по фракциям: 5...10 мм, 10...20 мм, 20...40 мм, 40...70 мм. Применение фракционированного крупного заполнителя за счет смешения фракций различного размера еще в большей степени способствует повышению плотности упаковок и увеличению его содержания в бетоне. Мелкий заполнитель распределяется в межзерновом пространстве крупного заполнителя, формируя плотные упаковки, характеризующиеся максимальным содержанием заполнителя в бетоне.

Мелкий заполнитель имеет размеры от 0,16 до 5 мм и разделяется по фракциям 0,16...0,315 мм; 0,315...0,63 мм; 0,63...1,25 мм; 1,25...2,5 мм; 2,5...5 мм. В качестве мелкого заполнителя применяют пески природного и искусственного происхождения. В тяжелых бетонах это в основном кварцевые пески, в легких – поризованные, получаемые из керамзита и других вспученных материалов. Часто в производстве бетонов применяют песчано-гравийные смеси, содержащие в своем составе зерна заполнителей размером от 0,16 до 10 мм.

К заполнителям для бетона предъявляются требования, учитывающие особенности их влияния на свойства бетона. Наиболее существенное влияние оказывают помимо зернового состава, прочность заполнителя и чистота его поверхности. Различают рядовой заполнитель, содержащий зерна различных размеров, и фракционированный.

### **1.3. Оборудование, приборы, инструменты и сырьевые материалы**

Перечень оборудования и инструментов для определения основных свойств сырьевых материалов для бетонов приводится в соответствующих ГОСТ по методам испытаний этих материалов.

Сырьевые материалы: портландцемент (шлакопортландцемент) (ГОСТ 10178-85; 31108-2016), песок природный сухой (ГОСТ 8736-2014), щебень из плотных горных пород сухой (ГОСТ 8267-93\*), песчано-гравийная смесь сухая (ГОСТ 8269.0-97\*, ГОСТ 8735-88\*).

### **1.4. Рабочее задание**

В данной работе необходимо изучить основные свойства цемента, песка, щебня, песчано-гравийной смеси. Предусматривается изучение лишь тех характеристик сырьевых материалов, которые необходимы, в первую очередь, при оценке свойств бетонных смесей и проектирования составов бетонов.

Для цемента требуется определить:

- истинную плотность и тонкость помола по ГОСТ 310.2-76\*;

---

\* В дорожном строительстве допускается применение крупного заполнителя с размером до 150 мм

- марку цемента по ГОСТ 310.4-81\*.

Для песка требуется определить по ГОСТ 8735-88\*:

- истинную плотность и насыпную плотность;
- зерновой состав и модуль крупности;
- межзерновую пустотность;
- содержание глинистых и илистых частиц.

Для щебня (гравия) требуется определить по ГОСТ 8269.0-97\*:

- истинную плотность;
- среднюю плотность;
- насыпную плотность;
- зерновой состав;
- пористость зёрен щебня;
- пустотность;
- дробимость и марку по прочности
- содержание глинистых и илистых частиц.

Для песчано-гравийной смеси определить (при необходимости):

- содержание гравия и песка в смеси, зерновой состав гравия и песка (ГОСТ 8269.0-97\* и ГОСТ 8735-88\*);
- прочность гравия, входящего в состав смеси (ГОСТ 8269.0-97\*).

### **1.5. Методика выполнения и результаты работы**

Студенческая подгруппа распределяется на три звена. Каждому звену требуется определить основные характеристики всех исходных сырьевых материалов. Для этого необходимо воспользоваться государственными стандартами на соответствующие сырьевые материалы, и затем полученные показатели свойств сравнить с требованиями соответствующих стандартов.

Результаты выполнения работы представляются в виде табл. 1.1.

Таблица 1.1

### **Основные характеристики сырьевых материалов для бетонов**

Вид материала	Исследуемая характеристика сырьевого материала	Единица измерения	Показатель	
			лабораторных испытаний	по соответствующему ГОСТ

### **1.6. Анализ результатов и выводы**

Представить сравнительный анализ полученных результатов с техническими требованиями соответствующих стандартов на эти материалы и сделать вывод о пригодности цемента, песка и щебня для использования их при приготовлении различных видов бетонов. В случае несоответствия свойств сырьевых материалов требованиям стандартов дать рекомендации по приведению характеристик материалов к этим требованиям.

## **1.7. Контрольные вопросы**

1. Основные положения методик определения истинной плотности, тонкости помола, нормальной густоты, сроков схватывания, равномерности изменения объема и марки цемента.
2. Основные положения методик определения истинной и насыпной плотности, зернового состава, модуля крупности и пустотности песка.
3. Основные положения методик определения средней и насыпной плотности, зернового состава, пустотности, марки по прочности щебня (гравия).
4. Какие требования предъявляются к цементу для приготовления тяжелого бетона?
5. Какие требования предъявляются к кварцевому песку для приготовления тяжелого бетона?
6. Какие требования предъявляются к щебню для приготовления тяжелого бетона?

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ БЕТОННОЙ СМЕСИ**

#### **2.1. Цель работы**

1. Изучение стандартных методов определения основных свойств бетонной смеси: средней плотности, удобоукладываемости, расслаиваемости, сохраняемости свойств во времени, объема вовлеченного воздуха.
2. Определение показателей свойств бетонной смеси: средней плотности, удобоукладываемости, расслаиваемости, сохраняемости свойств во времени, объема вовлеченного воздуха и сравнение их со стандартными значениями.
3. Овладение приемами управления показателями удобоукладываемости бетонной смеси, её расслаиваемостью и сохраняемостью свойств во времени.

#### **2.2. Краткие теоретические сведения**

Бетонная смесь представляет собой систему с однородным распределением ее компонентов по объему. Наличие в ней твердых частиц, отличающихся по дисперсности на три и более порядка, предопределяет формирование разнородных структур и, соответственно, ее свойства [6]. Тонкодисперсные частицы, обладающие избыточной поверхностной энергией, способствуют формированию агрегированных структур. Часть воды в этих структурах находится в «связанном» состоянии. В межфазных границах вследствие действия ионно-электростатических и молекулярных сил на поверхности частиц твердой фазы формируются двойные электрические слои с участием молекул воды. Расклинивающее пленочное и стягивающее капиллярные давления,

проявляющиеся в межчастичном и межагрегатном взаимодействии, в значительной степени обеспечивают «связность» цементного теста и соответственно бетонной смеси, проявление ее вязкопластичных свойств. В грубодисперсной составляющей смеси, представленной мелким и крупным заполнителями, действие поверхностных сил незначительно, и определяющими являются силы, зависящие от объемно-массовых характеристик частиц. В статических условиях заполнители способствуют снижению расслаиваемости, уменьшению первичной усадки, увеличению времени сохраняемости смеси. При сдвиговых деформациях, при вибрационном воздействии, перемешивании, транспортировании, под действием инерционных сил может происходить относительное движение частиц заполнителя, приводящее к дополнительному разжижению смеси.

### **2.3. Оборудование, приборы, инструменты и сырьевые материалы**

Лабораторный смеситель принудительного действия; прибор Вебе (ГОСТ 10181-2014) для определения жёсткости бетонной смеси; конус для определения подвижности бетонной смеси (ГОСТ 10181-2014); лабораторная виброплощадка с частотой колебания  $2900 \pm 100$  кол/мин и амплитудой  $0,5 \pm 0,05$  мм; сушильный шкаф (ТУ 16.681.032); формы для изготовления контрольных образцов  $150 \times 150 \times 150$  мм и  $200 \times 200 \times 200$  мм (ГОСТ 22685-89\*); секундомеры; весы лабораторные общего назначения (ГОСТ 24104-88) с разновесами; линейки измерительные металлические (ГОСТ 427-75\*); мерные цилиндры на 250, 500 и 1000 мл (ГОСТ 1770-74); кельмы и лопатки (ГОСТ 9533-81); объемомер; противень; прямой металлический гладкий стержень с округленными концами длиной 600 мм и диаметром 16 мм. Остальные дополнительные приспособления – соответственно ГОСТ 10181-2014: встряхивающий стол с верхней металлической подвижной плитой, шарнирно закрепленной на нижней плите основания; конусная форма следующих внутренних размеров – нижний диаметр  $200 \pm 2$  мм, верхний –  $130 \pm 2$  мм, высота  $200 \pm 2$  мм; два тяжелых жестких блока-останова, контейнер для повторного перемешивания, совок с квадратным устьем, лопатка шириной  $100 \pm 10$  мм, уплотняющий брус, форма квадратного сечения с внутренними размерами – дно  $(200 \times 200) \pm 2$  мм, высота  $400 \pm 2$  мм; стеклянный термометр по ГОСТ 13646. Сырьевые материалы: цемент (ГОСТ 10178-85), песок природный сухой (ГОСТ 8736-2014), щебень из плотных горных пород сухой (ГОСТ 8267-93\*\*), вода (ГОСТ 23732-2011).

### **2.4. Рабочее задание**

Изучить методику определения основных свойств бетонной смеси: средней плотности, удобоукладываемости, расслаиваемости, сохраняемости свойств во времени, объёма вовлеченного воздуха.

Определить количественные показатели этих характеристик и сравнить их со стандартными значениями.

## 2.5. Методика выполнения и результаты работы

### 2.5.1. Определение средней плотности бетонной смеси

Для определения фактического расхода материалов на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси необходимо знать значение средней плотности бетонной смеси. Среднюю плотность бетонной смеси, характеризуемую отношением массы уплотненной бетонной смеси к ее объему, определяют в цилиндрическом сосуде (табл. 2.1) или в формах размером 150 × 150 × 150 мм при использовании заполнителей с наибольшей крупностью 40 мм.

Таблица 2.1

#### Характеристики цилиндрических сосудов для определения плотности бетонной смеси

Наибольшая крупность зерен фракции заполнителя, мм	Вместимость сосуда, см <sup>3</sup> , не менее	Внутренний размер сосуда, мм	
		диаметр	высота
20	1000	108	108
40	5000	185	185
80 (70)	10000	234	234

Бетонную смесь готовят в лабораторном смесителе принудительного действия.

Уплотнение бетонной смеси марок по удобоукладываемости П4 и П5 проводят вручную с применением штыковки. В этом случае предварительно взвешенные сосуд или форму заполняют бетонной смесью тремя равными по высоте слоями с 25-кратным штыкованием каждого слоя металлическим стержнем диаметром 16 мм и длиной 600 мм.

Уплотнение бетонной смеси марок по удобоукладываемости П1 – П3, Ж1 – Ж5 проводят на виброплощадке. При этом сосуд или форму взвешивают с бетонной смесью после уплотнения с погрешностью до 5 г. Среднюю плотность бетонной смеси определяют как среднее арифметическое значение результатов двух определений плотности смеси из одной пробы и вычисляют по формуле

$$\rho_{см} = \frac{m - m_1}{V} \cdot 1000, \quad (2.1)$$

где  $\rho_{см}$  - средняя плотность бетонной смеси, г/см<sup>3</sup>;

$V$  - вместимость мерного сосуда (формы), см<sup>3</sup>;

$m_1$  - масса сосуда (формы) без смеси, кг;

$m$  - масса сосуда (формы) с бетонной смесью, г.

Результаты двух определений средней плотности могут отличаться не более чем на 2 % от среднего значения. В случае большего расхождения результатов испытаний повторяют опыты на новой пробе бетонной смеси.

### 2.5.2. Определение удобоукладываемости бетонной смеси

Бетонную смесь, различную по степени уплотняемости, подвижности, жесткости или расплыву, готовят в объеме 6 л в лабораторном смесителе принудительного действия.

Осадка конуса характеризует удобоукладываемость бетонной смеси марок П1-П5.

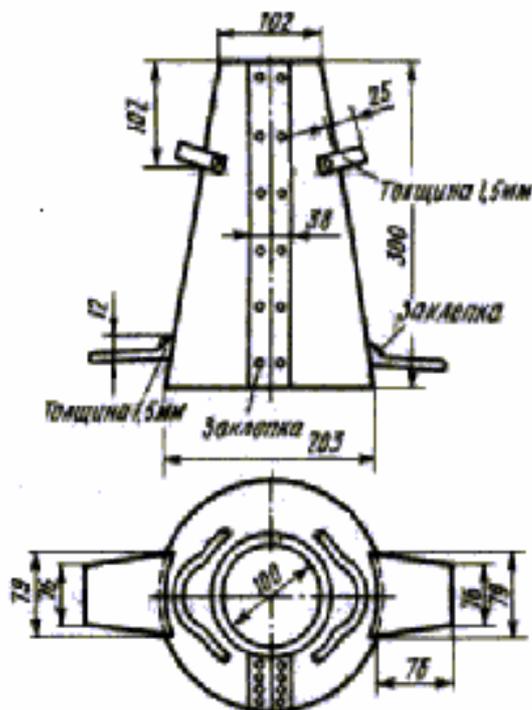


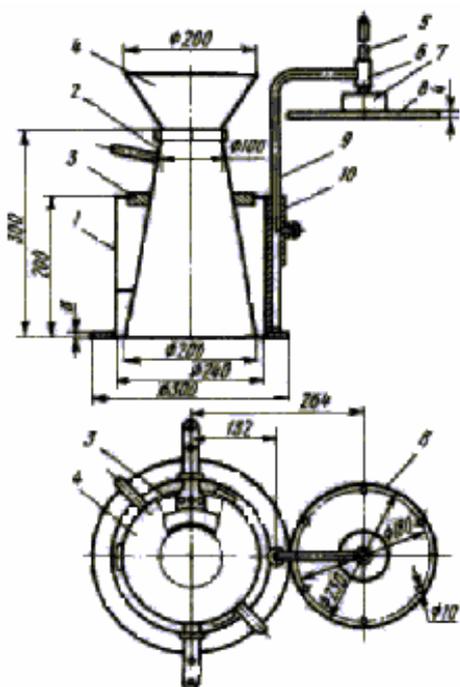
Рис. 2.1. Конус для определения подвижности бетонной смеси

Конус (рис. 2.1), предварительно смоченный влажной тканью изнутри, устанавливают на гладкий металлический лист размером не менее 700 × 700 мм и заполняют бетонной смесью через воронку тремя равными по высоте слоями. Каждый уложенный слой уплотняют в конусе № 1 - 25-кратным, а в конусе № 2 - 56-кратным штыкованием металлическим стержнем диаметром 16 мм и длиной 600 мм с закругленными концами. Во время наполнения и штыкования конус должен быть плотно прижат к листу. Бетонную смесь марок П4 и П5 заполняют в один прием и штыкуют в нормальном конусе 10, в увеличенном – 20 раз.

После уплотнения бетонной смеси в конусе воронку снимают, и избыток смеси срезают вровень с верхними краями конуса. Время от начала заполнения конуса до его снятия не должно превышать 3 мин. Затем конус плавно в течение 5...7 с снимают и устанавливают рядом с отформованной бетонной смесью. Осадку конуса бетонной смеси определяют, укладывая гладкий стержень на верхнюю часть конуса и измеряя расстояние от нижней поверхности стержня до поверхности бетонной смеси с погрешностью не более 0,5 см. Величину осадки конуса бетонной смеси оценивают как среднее арифметическое результатов двух определений с округлением до 1 см, отличающихся между собой не более чем на 1 см при осадке конуса до 9 см включительно: на 2 см при ОК = 10 – 15 см и на 3 см при ОК = 16 см и выше. Осадку конуса бетонной смеси, определенную в увеличенном конусе, приводят к осадке, определенной в нормальном конусе, умножением осадки увеличенного конуса на коэффициент 0,67.

Если осадка конуса равна нулю, то удобоукладываемость бетонной смеси характеризуют жесткостью.

Жесткость бетонной смеси оценивают временем вибрирования, необходимым для выравнивания и уплотнения предварительно отформованного конуса бетонной смеси и появления цементного теста в отверстиях пригруза прибора для определения жесткости (рис. 2.2). Прибор устанавливают на виброплощадку и собирают его. Вначале жестко закрепляют цилиндрическое кольцо прибора, в которое вставляют конус, и закрепляют его, после чего устанавливают воронку. Заполнение конуса прибором бетонной смесью, уплотнение её и снятие конуса с отформованной смеси производят так же, как описано выше для смесей марок П1 – П3. На поверхность отформованного конуса из бетонной смеси поворотом штатива устанавливают диск пригруза массой  $2,75 \pm 0,05$  кг с шестью отверстиями диаметром 10 мм каждое. Штатив закрепляют в фиксирующей втулке зажимным винтом, включают виброплощадку, секундомер и вибрируют до тех пор, пока в любых двух отверстиях диска не начнется выделение цементного теста. Замеренное время характеризует жесткость бетонной смеси. Его вычисляют с точностью до 1 с как среднее арифметическое результатов двух определений, отличающихся между собой не более чем на 20 % среднего значения. При большем расхождении результатов испытание повторяют на новой пробе.



**Рис. 2.2. Прибор Вебе:**

- 1 – цилиндр; 2 – конус; 3 – кольцо-держатель; 4 – воронка; 5 – штанга;
- 6 – направляющая втулка; 7 – шайба;
- 8 – диск пригруза; 9 штатив;
- 10 – фиксирующая втулка

Вначале жестко закрепляют цилиндрическое кольцо прибора, в которое вставляют конус, и закрепляют его, после чего устанавливают воронку. Заполнение конуса прибором бетонной смесью, уплотнение её и снятие конуса с отформованной смеси производят так же, как описано выше для смесей марок П1 – П3. На поверхность отформованного конуса из бетонной смеси поворотом штатива устанавливают диск пригруза массой  $2,75 \pm 0,05$  кг с шестью отверстиями диаметром 10 мм каждое. Штатив закрепляют в фиксирующей втулке зажимным винтом, включают виброплощадку, секундомер и вибрируют до тех пор, пока в любых двух отверстиях диска не начнется выделение цементного теста. Замеренное время характеризует жесткость бетонной смеси. Его вычисляют с точностью до 1 с как среднее арифметическое результатов двух определений, отличающихся между собой не более чем на 20 % среднего значения. При большем расхождении результатов испытание повторяют на новой пробе.

При определении жесткости бетонной смеси допускается использование других приборов, оговоренных в ГОСТ 10181-2014.

Распływ бетонной смеси определяют путем измерения величины расплыва на встряхивающем столе. Встряхивающий стол устанавливают на плоскую горизонтальную поверхность. Стол и конусную форму очищают и увлажняют до начала испытания. Помещают форму в центре стола и фиксируют ее положение с помощью фиксаторов. Форму наполняют бетонной смесью совком двумя равными слоями. Каждый слой уплотняют 10 легкими ударами уплотняющего бруса и с его помощью срезают излишек массы вровень с краями формы. Поверхность стола очищают от остатков смеси. Через 30 с с момента срезки излишка смеси форму поднимают за ручки вертикально вверх за время от 3 до 6 с. Верхнюю плиту стола плавно поднимают до верхнего блока-останова так, чтобы плита не стукнулась о блок-останов. По-

вторяют цикл 15 раз, проводя каждый цикл в течение 2 – 5 с. Металлической линейкой измеряют максимальные размеры расплыва бетонной смеси с точностью до 10 мм в двух направлениях  $d_1$  и  $d_2$  (рис. 2.3), параллельных краям стола.

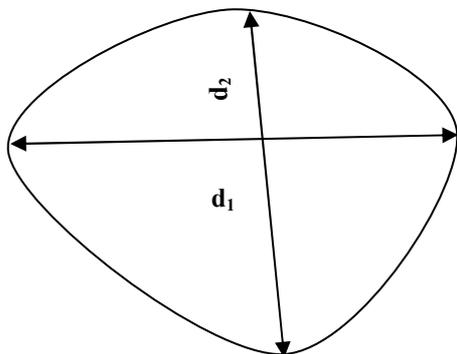


Рис. 2.3. Измерение расплыва бетонной смеси

Визуально проверяют расплывшуюся смесь на расслоение. Если образовалось расслоение, его регистрируют, а испытание считают неудовлетворительным.

Распływ бетонной смеси определяют два раза. Общее время испытания не должно превышать 15 мин. Величину расплыва  $D_{распл}$  в мм, определяют с точностью до 10 мм по формуле

$$D_{распл} = \frac{d_1 - d_2}{2}. \quad (2.2)$$

Распływ бетонной смеси вычисляют как среднеарифметическое значение результатов двух определений расплыва одной пробы бетонной смеси, отличающихся между собой не более чем на 20 % среднего значения. При большем расхождении результатов испытание повторяют на новой пробе.

Степень уплотняемости бетонной смеси оценивают по разности высот бетонной смеси в форме размером до и после ее уплотнения.

Перед испытанием пробу бетонной смеси перемешивают, внутреннюю поверхность формы увлажняют. Наполняют форму бетонной смесью без уплотнения, срезают смесь вровень с краями формы, уплотняют бетонную смесь (п. 2.5.2). Затем определяют расстояние ( $S$ ) между поверхностью уплотненного образца и верхом формы (рис. 2.4) с точностью до 1 мм.

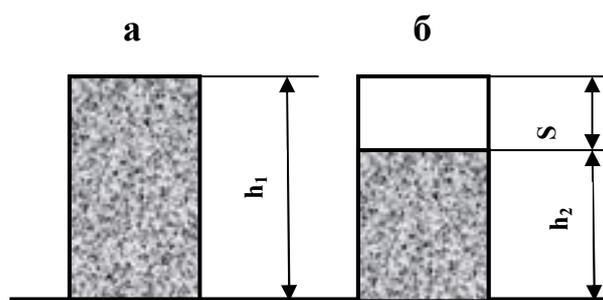


Рис. 2.4. Определение степени уплотняемости бетонной смеси:  
а – форма до уплотнения;  
б – после уплотнения

Степень уплотняемости бетонной смеси одной пробы определяют два раза. Общее время испытания не должно превышать 15 мин. Степень уплотняемости ( $C$ ) определяют по формуле

$$C = \frac{h_1}{h_2}, \quad (2.3)$$

где  $h_1$  – высота формы, мм;

$h_2$  – высота бетонной смеси в форме после уплотнения, мм.

Степень уплотняемости вычисляют с округлением до сотых долей как среднеарифметическое значение результатов двух определений уплотняемости одной пробы бетонной смеси, отличающихся между собой не более чем на 20 % среднего значения. При большем расхождении результатов испытание повторяют на новой пробе.

Согласно ГОСТ 7473-2010 бетонные смеси по показателю удобоукладываемости делятся на марки (табл. 2.2).

Таблица 2.2

**Классификация бетонных смесей по удобоукладываемости  
(ГОСТ 7473-2010)**

Марка по удобоукладываемости		Показатель удобоукладываемости			
		коэффициент уплотнения	жесткость, с	подвижность, см	распływ конуса, см
Марка по уплотнению	КУ1	более 1,45	-	-	-
	КУ2	1,45-1,26	-	-	-
	КУ3	1,25-1,11	-	-	-
	КУ4	1,10-1,04	-	-	-
	КУ5	менее 1,04	-	-	-
Марка по жесткости	Ж1	-	5-10	-	-
	Ж2	-	11-20	-	-
	Ж3	-	21-30	-	-
	Ж4	-	31-50	-	-
	Ж5	-	более 50	-	-
Марка по осадке конуса	П1	-	-	1-4	-
	П2	-	-	5-9	-
	П3	-	-	10-15	-
	П4	-	-	16-20	-
	П5	-	-	более 20	-
Марка по расплыву конуса	Р1	-	-	-	менее 35
	Р2	-	-	-	35-41
	Р3	-	-	-	42-48
	Р4	-	-	-	49-55
	Р5	-	-	-	56-62
	Р6	-	-	-	более 62

**2.5.3. Корректировка удобоукладываемости бетонной смеси**

Важным моментом является процесс корректировки удобоукладываемости бетонной смеси. В том случае, когда бетонная смесь имеет осадку конуса меньше заданной, то в нее добавляют воду порциями, составляющими 2...3 % от заданного количества. При этом чтобы сохранить принятое водоцементное отношение, добавляют соответствующее количество цемента и производят повторное определение подвижности бетонной смеси.

Если бетонная смесь имеет избыточную подвижность по сравнению с требуемой, то в замес добавляют песок и крупный заполнитель, сохраняя заданное по расчету соотношение между ними. Заполнители добавляют порциями по 3...5 % от их массы и производят повторное определение подвижности.

Корректировку жесткости бетонной смеси производят так же, как и ее подвижной. Только для каждого нового определения во избежание искажения результатов от повторного вибрирования берут вновь приготовленную порцию бетонной смеси.

#### 2.5.4. Определение расслаиваемости бетонной смеси

Оценка расслаиваемости бетонной смеси предусматривает определение показателей раствоороотделения и водоотделения.

##### 2.5.4.1. Определение раствоороотделения бетонной смеси

Раствоороотделение бетонной смеси характеризует ее связность. Раствоороотделение определяют при динамическом воздействии путем сопоставления содержания растворной составляющей бетонной смеси в нижней и верхней частях, уплотненной в мерном сосуде или форме.

Бетонную смесь укладывают и уплотняют в мерном сосуде или форме размером  $200 \times 200 \times 200$  мм штыкованием бетона в соответствии с ГОСТ 10180. Затем ее подвергают вибрационному воздействию на лабораторной виброплощадке: жесткую смесь марок Ж1-Ж4 – в течение 120 с; подвижную смесь марок П1 и П2 - 25 с, марок П3-П5 – 10 с. После вибрирования верхний слой бетона высотой около половины высоты мерного сосуда (формы) отбирают на предварительно взвешенный противень. Нижнюю часть образца выгружают из формы путем опрокидывания на второй противень. Затем измеряют с погрешностью до 5 мм высоту слоя смеси ( $H_n$ ), оставшейся в нижней части формы, и вычисляют высоту отобранного слоя смеси ( $H_v$ )

При испытании жестких бетонных смесей допускается перед разделением свежееотформованного образца производить его распалубку. Отобранные пробы бетонной смеси взвешивают и подвергают мокрому рассеву на сите с отверстиями 5 мм. При мокром рассеве отдельные части пробы, уложенные на сито, промывают струей чистой воды до полного удаления цементно-песчаного раствора с поверхности зерен крупного заполнителя.

Промывку смеси считают законченной, когда из сита вытекает чистая вода. Отмытые порции заполнителя переносят на чистый противень и высушивают до постоянной массы при температуре 105...110 °С, затем взвешивают.

Массу растворной составляющей в навесках верхней и нижней частей мерного сосуда (формы) определяют по формулам

$$m_{p.v} = \frac{(m_{см.в} - m_{щ.в}) \cdot 0,5H}{H_v}, \quad (2.4)$$

$$m_{p.n} = \frac{(m_{см.н} - m_{щ.н}) \cdot 0,5H}{H_n}, \quad (2.5)$$

где  $m_{p.v}$  и  $m_{p.n}$  - масса растворной составляющей в верхней (нижней) части мерного сосуда (формы), г;

$m_{щ.в}$  и  $m_{щ.н}$  - масса высушенного крупного заполнителя из верхней (нижней) части мерного сосуда (формы), г;

$m_{см.в}$  и  $m_{см.н}$  - масса бетонной смеси, отобранной из верхней (нижней) части мерного сосуда (формы), г;  
 $H$  – высота мерного сосуда (формы), мм;  
 $H_в$  и  $H_н$  – соответственно фактическая высота верхнего и нижнего слоев смеси, мм.

Раствороотделение бетонной смеси ( $\Pi_p$ ) в процентах определяют по формуле

$$\Pi_p = \frac{m_{р.в.} - m_{р.н.}}{m_{р.в.} + m_{р.н.}} \cdot 100, \quad (2.6)$$

Раствороотделение для каждой пробы бетонной смеси определяют дважды и вычисляют с округлением до 1 % как среднее арифметическое значение результатов двух определений, отличающихся между собой не более чем на 20 % среднего значения. При большем расхождении результатов испытание повторяют на новой пробе бетонной смеси.

#### 2.5.4.2. Определение водоотделения бетонной смеси

Водоотделение бетонной смеси, характеризующее ее связность в состоянии покоя, после отстаивания пробы бетонной смеси определяют в мерном сосуде или форме в течение определенного промежутка времени.

Бетонную смесь укладывают в мерный сосуд (форму), объем которого в зависимости от наибольшей крупности зерен заполнителя должен соответствовать требованиям ГОСТ 10181 (табл. 2.1), и уплотняют на виброплощадке в зависимости от удобоукладываемости в течение времени, указанного в п. 2.5.4.1 настоящего практикума. Уровень бетонной смеси должен быть на  $10 \pm 5$  мм ниже верхнего края сосуда. Сосуд накрывают листом паронепроницаемого материала (стеклом, стальной пластиной и т.п.) и оставляют в покое на 2 ч. Через каждые 15 мин отбирают пипеткой отделившуюся воду, собирают ее в стакан с крышкой и взвешивают по окончании испытания. Водоотделение бетонной смеси,  $\Pi_B$ , %, характеризуют объемом воды, отделившейся за 2 ч, отнесенному к объему бетонной смеси в мерном сосуде (форме) и вычисляют по формуле

$$\Pi_B = \frac{m_B}{\rho_B \cdot V_{бс}} \cdot 100, \quad (2.7)$$

где  $m_B$  - масса отделившейся воды, г;  
 $\rho_B$  - плотность воды, равная  $1 \text{ г/см}^3$ ;  
 $V_{бс}$  - объем уплотненной бетонной смеси,  $\text{см}^3$ .

Водоотделение бетонной смеси определяют дважды для каждой пробы бетонной смеси и вычисляют с округлением до 1 % как среднее арифметическое значение результатов двух определений, отличающихся между собой не более чем на 20 % среднего значения. При большем расхождении результатов определение повторяют на новой пробе бетонной смеси.

### 2.5.5. Определение сохраняемости свойств бетонной смеси во времени

Для оценки сохраняемости свойств во времени готовят бетонную смесь с определенным водоцементным отношением (задается преподавателем) в объеме 5,5 л. Определяют удобоукладываемость (подвижность или жесткость) бетонной смеси по ГОСТ 10181.

Оценку сохраняемости свойств бетонной смеси во времени выполняют путем измерения изменения величины ее подвижности или жесткости во времени. Для этого через каждые 30 мин определяют удобоукладываемость смеси до окончания испытания. По зависимости изменения подвижности или жесткости с течением времени устанавливают «живучесть» бетонной смеси - допустимое время работы с бетонной смесью. Результаты измерений заносят в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Результаты измерений удобоукладываемости бетонной смеси

Вид бетонной смеси	Начальная марка бетонной смеси по удобоукладываемости	Подвижность, см (жесткость, с)					Марка бетонной смеси по удобоукладываемости после испытаний
		Время измерения, мин					
		0	20	40	60	...	

По результатам измерений строят графическую зависимость изменения удобоукладываемости (подвижности или жесткости) бетонной смеси от времени.

### 2.5.6. Определение пористости (воздухосодержания) бетонной смеси

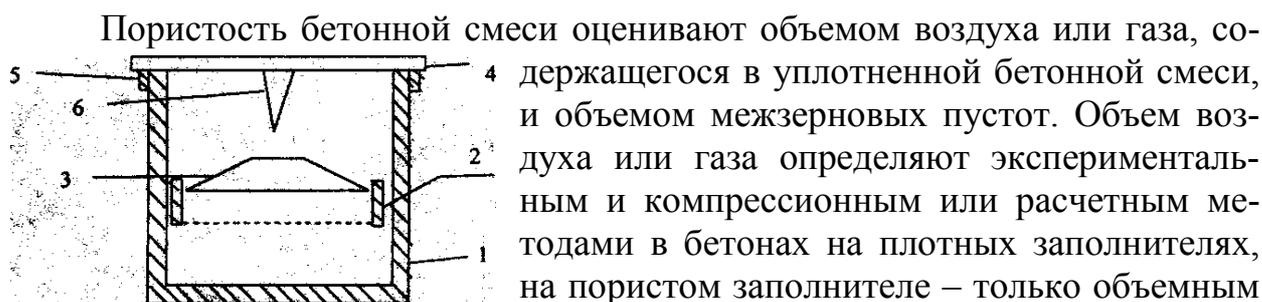


Рис. 2.5. Схема объёмомера:

- 1 – цилиндрический сосуд;
- 2 – пригрузающий пуансон;
- 3 – петля;
- 4 – металлическая пластинка;
- 5 – ограничители;
- 6 – стрелка;
- 7 сетка

В лабораторной работе определение объема вовлеченного воздуха или газа в бетонную смесь производят объемным методом с помощью объёмомера (рис. 2.5), вместимость цилиндрического сосуда которого определяют в зависимости от наибольшего

размера зерен фракции заполнителя (табл. 2.4).

### Вместимость объёмомера

Наибольшая крупность зерен фракции заполнителя, мм	20	40
Вместимость мерного сосуда, см <sup>3</sup> , не менее	5000	10000

Отношение высоты мерного сосуда к его диаметру - от 1 до 2. Пригружающий пуансон 2 выполнен в виде металлического кольца высотой 20 мм и наружным диаметром на 3 мм меньше внутреннего диаметра сосуда, имеет дно из сетки с ячейками размером 1,2 мм и проволочную петлю 3 для поднятия его из сосуда. Стрелка 6 длиной 22 мм конусообразной формы с острым концом.

Градуировка объёмомера заключается в установлении объема его сосуда. Для этого в пустой мерный сосуд помещают пригружающий пуансон 3, сосуд заливают водой до тех пор, пока стрелка не будет соприкасаться с поверхностью воды. Этот момент фиксируют по соприкосновению острия стрелки с ее отражением в воде.

Постоянную объёмомера ( $V_0$ ) вычисляют по формуле

$$V_0 = \frac{m_в}{\rho_в}, \quad (2.8)$$

где  $m_в$  - масса влитой воды, г;

$\rho_в$  - плотность воды, принимаемая равной 1,0 г/см<sup>3</sup>.

Для определения объема вовлеченного воздуха объёмным методом отбирают навеску бетонной смеси ( $m_{см}$ ) массой, вычисляемой по формуле

$$m_{см} = \rho_{см} \cdot V_{см}, \quad (2.9)$$

где  $\rho_{см}$  - плотность бетонной смеси в уплотненном состоянии, г/см<sup>3</sup>;

$V_{см}$  - объем бетонной смеси в уплотненном состоянии, принимаемый равным (0,2 - 0,3)  $V_ч$ , см<sup>3</sup>.

Навеску бетонной смеси помещают в сосуд объёмомера и уплотняют по ГОСТ 10180. Затем в сосуд вливают взвешенное количество воды с погрешностью не более 1 г объемом, в 1,5-2 раза превышающим объем испытываемой смеси до тех пор, пока поверхность воды не соприкоснется с острием стрелки. Смесь с водой тщательно перемешивают металлическим стержнем в течение 2-3 мин, после чего снимают образовавшуюся пену в предварительно взвешенный стакан объемом 100-200 мл и устанавливают суммарную массу отобранной пены. Перемешивание и отбор пены повторяют не менее двух раз с промежутком времени 2-3 мин и устанавливают суммарную массу пены.

После последнего снятия пены в сосуд опускают пригружающий пуансон, накладывают крышку со стрелкой так, чтобы ограничители соприкасались со стенками сосуда. Затем постепенно тонкой струей доливают предварительно взвешенное количество воды объемом, в 1,5-2 раза превышающим объем испытываемой смеси. Суммарную массу налитой в сосуд воды определяют взвешиванием.

При испытании бетонной смеси на пористом заполнителе перед каждым снятием пены для предотвращения всплывания зерен заполнителя в сосуд опускают пригружающий пуансон. После окончания испытания пуансон поднимают, из смеси отбирают 20-50 зерен крупного заполнителя. Зерна обтирают влажной тканью, взвешивают, высушивают до постоянной массы, затем вычисляют водопоглощение крупного заполнителя ( $W_{щ}$ , % массы) за время от начала приготовления бетонной смеси до окончания испытания по формуле

$$W_{щ} = \frac{Щ_1 - Щ_2}{Щ_2} \cdot 100\%, \quad (2.10)$$

где  $Щ_1$  - масса отобранной пробы крупного заполнителя в водонасыщенном состоянии, г;

$Щ_2$  - то же, в сухом состоянии, г.

Объем воздуха (газа) в бетонной смеси ( $V_{в}$ , %) вычисляют с округлением до 0,1 % как среднеарифметическое значение результатов двух определения объема воздуха (газа) в одной пробе бетонной смеси, отличающихся между собой не более чем на 20 % среднего значения.

$$V_{в} = \frac{V_{см} + \frac{m_{в}}{\rho_{в}} - V_0 - 0,9 \cdot m_n - \frac{n \cdot W_{щ}}{100} \cdot \frac{Щ}{1000} \cdot V_{см}}{V_{см}} \cdot 100, \quad (2.11)$$

где  $V_{см}$  - объем испытываемой бетонной смеси в уплотненном состоянии, см<sup>3</sup>;

$m_{в}$  - масса всей влитой воды, г;

$\rho_{в}$  - плотность воды, принимаемая равной 1 г/см<sup>3</sup>;

$V_0$  - постоянная объёмомера, см<sup>3</sup>;

$m_n$  - масса отобранной пены, г;

$W_{щ}$  - водопоглощение крупного пористого заполнителя, % массы;

$n$  - коэффициент, равный 0,4 для пористого гравия и 0,75 для пористого щебня;

$Щ$  - содержание крупного пористого заполнителя в номинальном составе бетонной смеси, кг/м<sup>3</sup>.

Для бетонной смеси на плотном заполнителе величины  $n$ ,  $W_{щ}$  и  $Щ$  принимают равными нулю.

### 2.5.7. Определение температуры бетонной смеси

Для определения температуры бетонной смеси применяют стеклянный термометр или другой прибор для измерения температуры с ценой деления не более 1 °С. Измерение температуры бетонной смеси начинают не позднее чем через 2 мин после отбора пробы. Прибор для измерения температуры погружают в бетонную смесь на глубину, определяемую техническим требованием к прибору для измерения температуры. Толщина слоя бетонной смеси вокруг прибора для измерения температуры должна быть не менее 75 мм. Температуру измеряют через 3 мин после погружения прибора для измере-

ния температуры в бетонную смесь до ее стабилизации. Температуру одной пробы бетонной смеси измеряют два раза с интервалом 5 мин. Разность между результатами двух определений не должна превышать 2 °С.

## **2.6. Анализ результатов и выводы**

Проводят анализ полученных результатов, в ходе которого определяют соответствие бетонной смеси определенной марке по удобоукладываемости, средней плотности; дают оценку показателям расслаиваемости и сохраняемости свойств бетонной смеси во времени, объему вовлеченного воздуха в бетонную смесь.

## **2.7. Контрольные вопросы**

1. Назовите показатели, характеризующие основные свойства бетонной смеси?
2. Какими показателями оцениваются реологические свойства бетонной смеси?
3. Какими показателями оценивается удобоукладываемость бетонной смеси и как определяются показатели её подвижности, жесткости и распы-ва?
4. От каких технологических факторов зависят показатели удобоукладываемости бетонной смеси?
5. Как определяется средняя плотность бетонной смеси?
6. Какие существуют методы определения расслаиваемости бетонной и растворной смеси и в чём их сущность? От каких технологических факторов зависит показатель расслаиваемости бетонной смеси?
7. Как оценивается сохраняемость свойств бетонной смеси во времени? От каких технологических факторов она зависит?
8. Как определяется объём вовлечённого воздуха в бетонную смесь?
9. Как определяется температура бетонной смеси?

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК МОДИФИКАТОРОВ ПЛАСТИФИЦИРУЮЩЕГО ДЕЙСТВИЯ НА СВОЙСТВА БЕТОННОЙ СМЕСИ И БЕТОНА**

#### **3.1. Цель работы**

1. Изучение механизма действия добавок пластифицирующего действия на свойства бетонной смеси и бетона.
2. Исследование влияния добавок модификаторов пластифицирующего действия на реологические свойства бетонной смеси.
3. Исследование влияния добавок модификаторов пластифицирующего действия на прочность бетона и определение их оптимальной дозировки.

### 3.2. Краткие теоретические сведения

Наиболее важным свойством бетонной смеси является ее удобоукладываемость или формуемость, то есть способность смеси растекаться под действием внешних сил и принимать заданную форму, сохраняя при этом монолитность и однородность. Удобоукладываемость определяется показателем подвижности и жесткости, расплыва конуса бетонной смеси

Особенностью бетонной смеси является постоянное изменение ее свойств от начала приготовления до затвердевания. Это обусловлено сложными физико-химическими процессами, протекающими в бетонной смеси и твердеющем бетоне. Вследствие наличия сил взаимодействия между дисперсными частицами твердой фазы и воды сложная многокомпонентная система – бетонная смесь – приобретает связность и может рассматриваться как единое физическое тело с определенными физическо-механическими свойствами. Основное влияние на эти свойства оказывают следующие технологические факторы: количество и качество цементного теста, соотношение объемов цемента и воды, дисперсность заполнителей, применяемые добавки, эффективность действия которых зависит от их химического состава и дозировок, и др.

Для регулирования свойств бетонной смеси, а также экономии цемента в технологии бетона применяют различные добавки: химические, минеральные и органоминеральные. Использование химических добавок является одним из наиболее универсальных, доступных и гибких способов управления технологией бетона и регулирования его основных свойств. Химические добавки классифицируют согласно [12] по эффекту действия:

- регулирующие свойства бетонных смесей;
- регулирующие схватывание бетонных смесей и твердение бетона;
- регулирующие плотность и пористость бетонной смеси и бетона;
- регулирующие деформацию бетона;
- повышающие защитные свойства бетона по отношению к стали (ингибиторы коррозии);
- стабилизирующие, повышающие стойкость бетонных смесей против расслоения;
- придающие бетону специальные свойства.

Некоторые добавки обладают полифункциональным действием; в этом случае классификацию добавок осуществляют по наиболее выраженному эффекту. Добавки, относящиеся к одному и тому же классу, могут сильно различаться по эффективности действия. В этом случае применяют дополнительную классификацию добавок по группам в соответствии с их эффективностью. Так, в качестве пластифицирующих добавок широко используют поверхностно-активные вещества (ПАВ), которые по пластифицирующему действию классифицируют на I, II, III и IV группы, позволяющие уменьшить водопотребность равноподвижных смесей, соответственно от 20 % и более до 5 % и менее.

Химические добавки, относящиеся к I группе – суперпластификаторы и гиперпластификаторы, которые значительно превосходят по эффективности действия других ПАВ. В большинстве случаев суперпластификаторы – это синтетические полимерные вещества. Пластифицирующие добавки вводят в бетонную смесь в количестве 0,1...1 % от массы цемента.

Применение химических добавок пластифицирующего действия в бетонных смесях по сравнению со смесями без добавок позволяет:

- при неизменном составе бетонной смеси увеличивать подвижность смеси;
- при сохранении требуемой подвижности бетонной смеси уменьшать водопотребность (снижать водоцементное отношение) смеси и повышать прочность бетона;
- при сохранении требуемой подвижности бетонной смеси и неизменной прочности бетона сокращать расход цемента.

### **3.3. Оборудование, приборы, инструменты и сырьевые материалы**

Лабораторный смеситель принудительного действия; лабораторная виброплощадка; весы лабораторные общего назначения с пределом взвешивания до 10 кг (ГОСТ 24104-88) с разновесами; секундомер; пресс гидравлический; конус для определения подвижности бетонной смеси (ГОСТ 10181-2014); прибор Вебе для определения жёсткости бетонной смеси (ГОСТ 10181-2014); формы-кубы размером 100 × 100 × 100 мм (ГОСТ 22685-89\*); мерные цилиндры на 250, 500 и 1000 мл (ГОСТ 1770-74); ёмкости для взвешивания сырьевых материалов, совки, кельмы, лабораторная пропарочная камера. Сырьевые материалы: цемент (ГОСТ 10178-85, 31108-2016), песок природный сухой (ГОСТ 8736-2014), щебень из плотных горных пород сухой (ГОСТ 8267-93\*\*), добавки ПАВ (ЛСТ, С-3, ЛСТМ-2 и др.), вода (ГОСТ 23732-2011).

### **3.4. Рабочее задание**

Исследовать влияние химической добавки модификатора пластифицирующего действия на:

- удобоукладываемость бетонной смеси;
- водопотребность бетонной смеси при неизменной удобоукладываемости по сравнению с бездобавочной бетонной смесью (водоредуцирующий эффект);
- прочность бетона при снижении водопотребности и постоянной удобоукладываемости бетонной смеси;
- расход цемента.

### 3.5. Методика выполнения и результаты работы

Студенческая подгруппа разбивается на три звена. Каждое звено работает по индивидуальному заданию, выдаваемым преподавателем.

Студенты первого звена изучают влияние дозировок химической добавки ПАВ на удобоукладываемость бетонной смеси заданного состава, предлагаемого преподавателем. Рассчитывают расход исходных сырьевых материалов: цемента, песка, щебня и воды, на замес бетонной смеси объемом 7 л. В лабораторном смесителе принудительного действия готовят бетонную смесь. Определяют удобоукладываемость бездобавочной бетонной смеси.

Назначают следующие дозировки химической добавки: 0,25; 0,5; 0,75 и 1 % от массы цемента в пересчете на сухое вещество добавки.

Расчет дозировки химической добавки рабочей концентрации  $D$  (л) выполняют по формуле

$$D = \frac{C \cdot S}{K \cdot P}, \quad (3.1)$$

где  $C$  - расход цемента на 1 м<sup>3</sup> бетона, кг;

$S$  – дозировка химической добавки, %, от массы цемента;

$K$  – концентрация рабочего раствора добавки, %;

$P$  – плотность рабочего раствора добавки, кг/л.

Последовательно готовят бетонные смеси принятых составов. Приготовление бетонных смесей осуществляют в лабораторном смесителе принудительного действия. При этом химическую добавку рабочей концентрации дозируют совместно с водой затворения. Затем определяют удобоукладываемость бетонной смеси каждого состава.

Студенты второго звена изучают водоредуцирующий эффект химической добавки ПАВ. Состав бетонной смеси задает преподаватель. Рассчитывают расход сырьевых материалов на замес 7 л. Дозировку химической добавки назначают равной 0,75 % от массы цемента в пересчете на сухое вещество. Количество химической добавки ПАВ рабочей концентрации определяют по формуле (3.1).

Готовят бездобавочную бетонную смесь и определяют ее удобоукладываемость. Готовят бетонную смесь той же удобоукладываемости, содержащую химическую добавку ПАВ, для чего опытным путем подбирают необходимое для затворения количество воды. Оценивают водоредуцирующий эффект химической добавки ПАВ пластифицирующего действия. Полученные результаты заносят в табл. 3.1. Затем из каждого замеса бетонной смеси при вибрационном воздействии на лабораторной виброплощадке формируют образцы-кубы размером 100 × 100 × 100 мм в количестве 6 шт., которые твердеют после изготовления в течение 28 сут в нормальных условиях. Допускается ускоренное твердение образцов в лабораторной пропарочной камере. В 28-суточном возрасте (или после ТВО) определяют предел прочности при сжатии образцов бетона испытанием на гидравлическом прессе. Результаты испытаний заносят в табл. 3.1.

Таблица 3.1

## Результаты испытаний бетона с добавкой модификатором (ПАВ)

Номер звена студентов	Расход сырьевых материалов на 1 м <sup>3</sup> , кг					Удобукладываемость (подвижность) бетонной смеси, см	Площадь поперечного сечения образца, см <sup>2</sup>	Разрушающая нагрузка при сжатии, Н	Предел прочности при сжатии бетона, МПа	Среднее значение предела прочности при сжатии бетона, МПа	Коэффициент изменчивости, %	Класс бетона	Эффект за счет применения добавки
	Ц	В	П	Щ	Д								

Студенты третьего звена изучают возможность решения задачи экономии цемента при сохранении постоянными показателей подвижности бетонной смеси и прочности бетона.

Рассчитывают расход сырьевых материалов на замес 7 л для состава бездобавочной бетонной смеси, назначенного преподавателем. В бетонной смеси того же состава, но с химической добавкой ПАВ в количестве 0,75 % от массы вяжущего уменьшают расход цемента на 15 ÷ 20 %. Для получения равнопрочных бетонов водоцементное отношение в обоих составах бетонной смеси выдерживают одинаковым.

Контролируют удобукладываемость приготовленных бетонных смесей, из которых затем путем вибрирования формируют по 6 образцов-кубов размером 100 × 100 × 100 мм.

Образцы твердеют в нормальных условиях (допускается ускоренное твердение в лабораторной пропарочной камере). В 28-суточном возрасте (или после ТВО) образцы испытывают на гидравлическом прессе для определения прочности при сжатии. Результаты испытаний заносят в табл. 3.1.

### 3.6. Анализ результатов и выводы

Оценивают влияние дозировки химической добавки ПАВ на изменение удобукладываемости бетонной смеси, ее водоредуцирующий эффект при неизменной удобукладываемости бетонной смеси. Сравнивают прочностные показатели бездобавочного бетона при сжатии и бетона с химической добавкой ПАВ, при этом отмечают возможность экономии цемента.

### 3.7. Контрольные вопросы

1. Какие химические добавки в цементы и в бетоны вы знаете?
2. Как осуществляется выбор вида и дозировок химических добавок в бетоны?

3. Какова цель применения химических добавок пластифицирующего действия в цементах и бетонах?

4. Каков механизм действия пластифицирующих добавок в цементных системах?

5. Каково влияние добавок-пластификаторов на реологические свойства бетонной смеси и прочность бетона?

6. Как влияют химические добавки-пластификаторы на степень гидратации цемента в бетоне?

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ РЕОЛОГИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОННОЙ СМЕСИ ОТ ЕЕ СОСТАВА**

#### **4.1. Цель работы**

1. Исследование влияния состава бетонной смеси на ее реологические характеристики.

2. Получение экспериментальным путем зависимости в графической и аналитической формах реологической характеристики бетонной смеси от ее состава.

#### **4.2. Краткие теоретические сведения**

Реология – наука о деформациях и текучести вещества, которая рассматривает процессы, связанные с необратимыми остаточными деформациями и течением материала. Проблемы реологии затрагивают также производство бетонных смесей. Именно реологическими методами оценивается способность бетонных смесей к формированию требуемых геометрических размеров изделий и заданной структуры бетона [1, 8].

Эта наука представлена двумя разделами – макро-и микрореологией. Макрореология устанавливает зависимости между напряжениями и деформациями во времени, при этом учитывается сложное реологическое поведение систем, когда одновременно проявляются вязкие, упругие и пластические свойства. Для описания реологического поведения материалов в теоретической макрореологии используют механические (феноменологические) модели, которые описываются дифференциальными уравнениями, отражающими действие вязкопластичных и упругих свойств. Экспериментально реологические характеристики веществ определяются с помощью специальных приборов и машин.

Микрореология исследует деформации и течение в микрообъемах, соизмеримых с размером частиц дисперсной фазы в дисперсных системах или с размерами молекул и атомов.

Практическое определение реологических свойств бетонной смеси является сложной задачей. Поэтому на производстве используются показатели, косвенно характеризующие вязкопластичные и упругие свойства бетонных смесей. В настоящее время стандартами предусмотрено определение показате-

телей подвижности и жесткости бетонной смеси, которые с достаточной практической точностью отражают реологические свойства смеси, вместе с тем просты в исполнении и не требуют применения сложного и дорогостоящего оборудования.

### 4.3. Оборудование, приборы, инструменты и сырьевые материалы

Лабораторный смеситель принудительного действия с частотой вращения ротора  $0,5 \text{ с}^{-1}$ ; лабораторная виброплощадка с частотой колебаний  $2900 \pm 100$  кол/мин и амплитудой  $0,5 \pm 0,05$  мм; прибор Вебе для определения жесткости бетонной смеси (ГОСТ 10181-2014); секундомеры; весы лабораторные общего назначения (ГОСТ 24104-88) с разновесами; мерные цилиндры емкостью 250, 500, 1000 мл (ГОСТ 1770-74); кельмы, совки, емкости для взвешивания материалов, калькулятор. Сырьевые материалы: цемент (ГОСТ 10178-85, 31108-2016), песок природный сухой (ГОСТ 8736-2014), щебень из плотных горных пород сухой (ГОСТ 8267-93\*\*), вода (ГОСТ 23732-2011) с известными характеристиками, определенными при выполнении лаб. раб. № 1.

### 4.4. Рабочее задание

Изучить влияние состава бетонной смеси на показатель ее жесткости.

### 4.5. Методика выполнения и результаты работы

Студенческая группа разделяется на 3 звена. Каждое звено работает с определенным В/Ц-отношением. Готовят цементное тесто объемом 5,5 л в лабораторном смесителе принудительного действия.

Расчет состава цементного теста производят с использованием системы уравнений

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{ц} + V_{в} = 5,5 \text{ л} \\ \frac{m_{в}}{m_{ц}} = B/Ц \end{array} \right. \quad \text{или} \quad \left\{ \begin{array}{l} V_{ц} + V_{в} = 5,5 \text{ л} \\ \frac{\rho_{в} V_{в}}{\rho_{ц} V_{ц}} = B/Ц \end{array} \right. , \quad (4.1)$$

где  $V_{ц}$ ,  $m_{ц}$  – объем и масса цемента, соответственно, л, кг;

$V_{в}$ ,  $m_{в}$  – объем и масса воды, соответственно, л, кг;

$B/Ц$  – назначенная величина водоцементного отношения (0,35 ... 0,75);

$\rho_{ц}$  – истинная плотность цемента, кг/л;

$\rho_{в}$  – истинная плотность воды, кг/л.

В приготовленное цементное тесто добавляют порцию мелкого заполнителя (песка природного). Время перемешивания смеси для получения необходимой однородности задает преподаватель. Порцию мелкого заполнителя по объему определяют из соотношения

$$B_{п} = \frac{V_{п}}{V_{ц,т}} = 0,1, \quad (4.2)$$

где  $B_{п}$  – состав цементно-песчаного раствора;

$V_{п}$  – объем порции мелкого заполнителя;

$V_{ц,т}$  – объем цементного теста, л ( $V_{ц,т} = 5,5$  л).

Масса порции мелкого заполнителя равна

$$M_{\text{п}} = V_{\text{п}} \cdot \rho_{\text{п}}, \quad (4.3)$$

где  $\rho_{\text{п}}$  – истинная плотность зерен песка, кг/л.

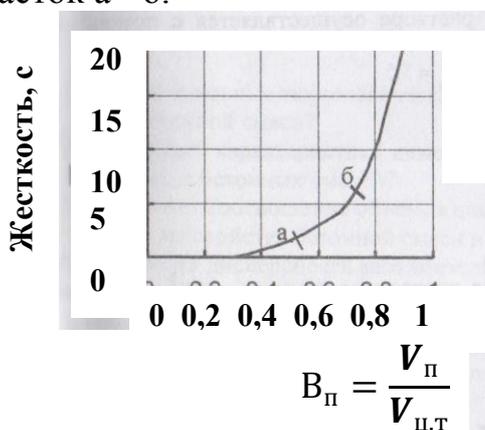
Цементное тесто с порцией мелкого заполнителя вновь тщательно перемешивают и затем определяют жесткость цементно-песчаного раствора с помощью установки типа Вебе (см. лаб. раб. № 2). Полученный результат показателя жесткости заносят в табл. 4.1.

Таблица 4.1

**Результаты определения жесткости цементно-песчаного раствора  
в зависимости от его состава (при В/Ц = const)**

Состав $\left( V_{\text{п}} = \frac{V_{\text{п}}}{V_{\text{ц.т}}} \right)$	Цементное тесто		Мелкий заполнитель		Жесткость раствора
	цемент		вода		
	л	кг	л	кг	

После определения показателя жесткости данный цементно-песчаный раствор снова помещают в смеситель, добавляют следующую такую же порцию мелкого заполнителя, перемешивают и вновь определяют жесткости полученного раствора. Результат заносят в табл. 4.1. Опыт повторяют до тех пор, пока показатель жесткости для данного раствора не будет примерно равен 30 – 35 с. По полученным данным строят график зависимости жесткости цементно-песчаного раствора от его состава (рис. 4.1) и выбирают на кривой участок а - б.



**Рис. 4.1. Зависимость показателя жесткости цементно-песчаного раствора от его состава (пример)**

Выбор участка а – б на графике обусловлен результатами многолетних экспериментальных исследований, полученных по данному вопросу [8]. Установлено, что получение требуемых реологических характеристик бетонной смеси при минимуме расхода цемента достигается только при рациональных соотношениях объемов мелкого и крупного заполнителей и цементного теста.

Для того, чтобы определить эти рациональные соотношения, на данном участке выбирают не менее трех значений  $V_{\text{п}}$ . Что касается количества выбираемых значений  $V_{\text{п}}$ , то чем их больше будет выбрано на данном участке, тем точнее будут определены искомые рациональные соотношения компо-

нентов бетонной смеси. Затем для каждого значения  $B_{\text{п}}$  готовят поочередно цементно-песчаные растворы, в которые рассчитанными порциями добавляют крупный заполнитель. Величины расчетной порции щебня по объему ( $V_{\text{щ}}$ ) определяют из соотношения

$$\frac{V_{\text{щ}}}{V_{\text{ц.т}}} = 0,1. \quad (4.4)$$

Масса порции крупного заполнителя равна

$$M_{\text{щ}} = V_{\text{щ}} \cdot \rho_{\text{щ}}, \quad (4.5)$$

где  $\rho_{\text{щ}}$  – истинная плотность щебня, кг/л.

Каждый раз бетонную смесь перемешивают в смесителе в течение 1 мин и затем определяют ее жесткость.

Полученные данные заносят в табл.4.2.

Таблица 4.2

**Результаты определения жесткости бетонной смеси  
в зависимости от ее состава (при В/Ц = const)**

Состав $\left( B = \frac{V_{\text{зап}}}{V_{\text{ц.т}}} \right)$	Цементное тесто		Мелкий заполнитель		Крупный заполнитель		Жесткость бетонной смеси, с	
	цемент	вода						
	л	кг	л	л	кг	л		кг

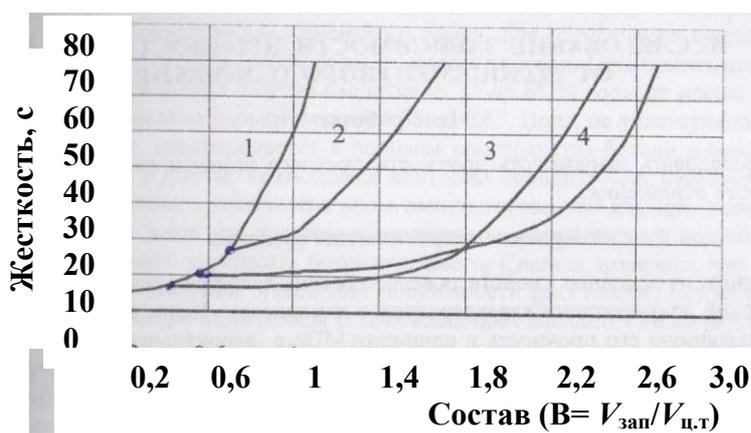
Расчет состава цементно-песчаного раствора осуществляют с помощью следующей системы уравнений

$$\begin{cases} V_{\text{ц}} + V_{\text{в}} + V_{\text{п}} = 5,5 \\ \frac{V_{\text{п}}}{V_{\text{ц.т}}} = B_{\text{п}} \\ \frac{B}{\text{Ц}} = n \end{cases}, \quad (4.6)$$

где  $n$  – заданное значение В/Ц-отношения.

По полученным результатам строят диаграммы «состав-свойство» (рис.4.2).

На диаграммах выбирают оптимальную кривую с точки зрения минимального расхода цемента для достижения заданной реологической характеристики бетонной смеси.



**Рис. 4.2. Зависимость жесткости бетонной смеси от ее состава ( $V/Ц=0,35$ ) (пример):**

1 – цементно-песчаный раствор; 2,3,4 – бетонные смеси с различным значением  $V_{п}$

#### 4.6. Анализ результатов и выводы

По результатам выполненной работы делают вывод о влиянии соотношения объемов мелкого, крупного заполнителей и цементного теста на реологическую характеристику бетонной смеси.

#### 4.7. Контрольные вопросы

1. Основные технологические факторы, влияющие на реологические свойства бетонной смеси?
2. Как влияют характеристики цементного теста на реологические показатели растворных и бетонных смесей?
3. Как влияет соотношение объемов цементного теста, мелкого и крупного заполнителей на свойства бетонной смеси и бетона?
4. Как влияет дисперсность заполнителей на реологические показатели бетонной смеси?
5. Как влияют параметры вибрационных воздействий на реологические показатели цементного теста, растворных и бетонных смесей?

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА ОТ ВОДОЦЕМЕНТНОГО ОТНОШЕНИЯ

##### 5.1. Цель работы

Исследование зависимости прочности тяжелого цементного бетона от водоцементного отношения.

##### 5.2. Краткие теоретические сведения

Одним из основных свойств тяжелого бетона является прочность, которая по технической документации характеризуется его классом. Класс бетона указывает гарантированную его прочность в единицах МПа с вероятно-

стью, равной 0,95. Бетон подразделяется на следующие классы по прочности: В1; В1,5; В2; В2,5; В3,5; В5; В7,5; В10; В12,5; В15; В20; В25; В30; В35; В40; В50; В55; В60. При оценке прочности бетона используют показатель средней прочности бетона

$$B = 0,098 \bar{R} (1 - tv), \quad (5.1)$$

где  $B$  – класс бетона, МПа;

$t$  – коэффициент обеспеченности класса бетона (принимают  $t = 1,64$  при 95 % вероятности);

$v$  – коэффициент вариации прочности бетона,

$$v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{R} - R_i)^2}{n-1}}. \quad (5.2)$$

ГОСТ 18105-2010 «Бетоны. Правила контроля и оценки прочности» при испытании прочности бетона предусматривает применение в зависимости от крупности наполнителя образцы-кубы, размеры которых приведены в табл. 5.1.

Таблица 5.1

**Размеры образцов-кубов и переводные коэффициенты  
для пересчета прочности**

<b>Размер куба, см</b>	7×7×7	10×10×10	15×15×15	20×20×20
<b>Коэффициент перевода</b>	0,85	0,90	1,0	1,05

При наибольшей крупности заполнителей (40 мм) испытывают кубы 150×150×150 мм, а при меньших размерах допускается применение кубов меньших размеров с последующим умножением результатов испытаний на соответствующий коэффициент перевода.

Прочность бетона зависит от активности цемента, качества заполнителей, соотношения составляющих, а также условий перемешивания, формования и режимов твердения.

Зависимость прочности бетона от водоцементного отношения определяют структурой формирующегося цементного камня, для обеспечения твердения которого требуется от 15 до 20 % воды от массы цемента. При приготовлении бетонной смеси в ее состав обычно вводят от 35 до 65 % воды от массы цемента, то есть В/Ц-отношение варьируется от 0,35 до 0,65. Вода, не участвующая в реакциях гидратации, распределяется в поровом пространстве бетона и может испаряться, оставляя пустоты, являющиеся центрами концентрации напряжений. Добавление избыточного количества воды – вынужденное, так как при пониженных В/Ц-отношениях даже при условии интенсивного механического воздействия не удастся качественно уплотнить бетонную смесь. Следует отметить, что в достаточно широком интервале изменения удобоукладываемости бетонной смеси прочность бетона при одинаковом В/Ц-отношении изменяется незначительно, однако скорость набора прочности бетоном на основе жестких бетонных смесей выше, чем у пластичных смесей. Другой причиной образования пор в бетоне является его недоуплот-

нение. Часть вовлеченного во время перемешивания воздуха остается в отформованном бетоне. Увеличение содержания вовлеченного воздуха в бетоне на 1 % приводит к потере 4 - 5 % прочности [8, 10].

Важным является обеспечение требуемых режимов твердения. По ГОСТ 18105-86 прочность бетона определяют в 28-суточном возрасте. Нормальное твердение осуществляют при температуре  $20 \pm 2$  °С и относительной влажности не менее 95 %. Следует отметить, что рост прочности бетона на основе клинкерных цементов продолжается в течение многих десятилетий, поэтому увеличение расчетного срока нормального твердения бетона дает возможность сократить расход цемента.

### **5.3. Оборудование, приборы, инструменты и сырьевые материалы**

Лабораторный смеситель принудительного действия; лабораторная виброплощадка с частотой колебаний  $2900 \pm 100$  кол/мин и амплитудой  $0,5 \pm 0,05$  мм; прибор Вебе для определения жесткости бетонной смеси (ГОСТ 10181-2014); секундомеры; весы лабораторные общего назначения (ГОСТ 24104-88) с разновесами; мерные цилиндры емкостью 250, 500, 1000 мл (ГОСТ 1770-74), кельмы, совки, емкости для взвешивания материалов, пресс гидравлический. Сырьевые материалы: цемент (ГОСТ 10178-85, 31108-2016), песок природный сухой (ГОСТ 8736-2014), щебень из плотных горных пород сухой (ГОСТ 8267-93\*\*), вода (ГОСТ 23732-2011) с известными характеристиками, определенными при выполнении лаб. раб. № 1.

### **5.4. Рабочее задание**

Изучить влияние водоцементного отношения на прочность бетона.

### **5.5. Методика выполнения и результаты работы**

Студенческая подгруппа разделяется на три звена, каждое из которых работает с определенным значением водоцементного отношения и постоянной реологической характеристикой бетонной смеси, которые задает преподаватель. Величину водоцементного отношения назначают в интервале 0,35...0,65, который охватывает практически все значения водоцементных отношений, применяемых в заводской технологии бетона. Так как трех значений В/Ц-отношения явно недостаточно для получения графической зависимости прочности бетона от В/Ц-отношения, то другие подгруппы студентов выполняют исследования при иных значениях В/Ц-отношения и при одной и той же реологической характеристике смеси. Данные по прочности бетона в зависимости от В/Ц-отношения всех подгрупп обобщают.

Зависимость прочности бетона от В/Ц-отношения носит вероятностный характер. Воздействие случайных факторов оценивают статистическими методами. Принимая нормальный закон распределения прочности бетона, находят оценки математического ожидания, среднеквадратичного отклонения; рассчитывают коэффициент изменчивости полученных значений прочности.

Составы бетона при заданных жесткости и величине В/Ц-отношения рассчитывают с использованием двойных диаграмм «состав-свойство» (см. лаб. раб. № 3). По диаграмме для заданной величины жесткости бетонной смеси находят значения соотношений

$$B = \frac{V_{п}+V_{щ}}{V_{ц,т}} \quad \text{и} \quad B_{п} = \frac{V_{п}}{V_{ц,т}}. \quad (5.3)$$

Расчеты составов на 1 м<sup>3</sup> (1000 л) бетонной смеси ведут по уравнениям

$$\begin{cases} V_{щ} + V_{п} + V_{ц,т} = 1000 \\ \frac{V_{п}}{V_{ц,т}} = B_{п} \\ \frac{V_{п}+V_{щ}}{V_{ц,т}} = B \end{cases}, \quad (5.4)$$

$$\begin{cases} V_{ц,т} = V_{в} + V_{ц} = \frac{m_{в}}{\rho_{в}} + \frac{m_{ц}}{\rho_{ц}} \\ \frac{B}{Ц} = \frac{m_{в}}{m_{ц}} \end{cases}, \quad (5.5)$$

В результате решения систем уравнений 5.4 и 5.5 находят  $m_{ц}$  и  $m_{в}$ .

$$m_{п} = V_{п} \cdot \rho_{п}; \quad m_{щ} = V_{щ} \cdot \rho_{щ}, \quad (5.6)$$

где  $\rho_{ц}$  – истинная плотность цемента, кг/л;

$\rho_{в}$  – истинная плотность воды, кг/л;

$\rho_{п}$  – истинная плотность песка, кг/л;

$\rho_{щ}$  – истинная плотность щебня, кг/л.

Результаты расчета расхода материалов на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси и на замес, равный 7 л, заносят в табл. 5.2.

Таблица 5.2

### Результаты расчета составов бетонной смеси

Величина В/Ц-отношения	Жесткость бетонной смеси, Ж, с	Расход сырьевых материалов, кг							
		на 1 м <sup>3</sup> бетонной смеси				на замес (7 л)			
		Ц	П	Щ	В	Ц	П	Щ	В

В лабораторном смесителе принудительного действия готовят бетонную смесь объемом 7 л. Контролируют жесткость бетонной смеси с помощью прибора Вебе. Затем на лабораторной виброплощадке формируют шесть образцов-кубов размером 100 × 100 × 100 мм. Рекомендуется для достижения коэффициента уплотнения, близкого к единице, время уплотнения бетонной смеси принять равным трем жесткостям (3Ж).

Изготовленные образцы-кубы твердеют в нормальных температурно-влажностных условиях ( $t = 20 \pm 2$  °С и относительная влажность не менее 95%); допускается ускоренное твердение в камерах тепловлажностной обработки (ТВО). После 28-суточного твердения (или после ТВО) образцы испы-

тывают на сжатие с помощью гидравлического пресса. Полученные данные статистически обрабатывают. При этом определяют:

- среднее значение предела прочности при сжатии

$$\bar{R}_{сж} = \frac{\sum_{i=1}^n R_{сжi}}{n}, \quad (5.7)$$

где  $R_{сжi}$  – результат единичного испытания образца-куба на сжатие;

$n$  – число испытанных образцов;

- оценку среднеквадратичного отклонения

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{R}_{сж} - R_{сжi})^2}{n-1}}; \quad (5.8)$$

- коэффициент вариации (изменчивости)

$$C_v = \frac{S}{\bar{R}_{сж}} \cdot 100\%. \quad (5.9)$$

Данные испытаний образцов на сжатие и результаты статистической обработки сводят в табл. 5.3.

Таблица 5.3

### Данные испытаний образцов и результаты статистической обработки полученных данных

Но- мер опы- та	В/Ц- отно- ше- ние	Жест- кость бетон- ной смеси, Ж, с	Пло- щадь об- разца, м <sup>2</sup>	Разру- шающая нагрузка при сжатии, Н	Пре- дел проч- ности при сжа- тии, МПа	Среднее значение предела прочности при сжа- тии, МПа	Средне- квadra- тиче- ское от- кло- нение, МПа	Кэф- фици- ент вариа- ции, %

На основании экспериментальных данных, полученных студентами всех звеньев и всех подгрупп, строят график зависимости прочности бетона при сжатии от величины водоцементного отношения при заданной реологической характеристике бетонной смеси.

### 5.6. Анализ результатов и выводы

В выводах дают анализ зависимости прочностных свойств тяжелого цементного бетона от В/Ц-отношения.

### 5.7. Контрольные вопросы

1. На какие свойства бетона влияет величина В/Ц-отношения?
2. Какое влияние В/Ц-отношение оказывает на поровую структуру бетона, цементного камня?

3. Какое влияние В/Ц-отношение оказывает на скорость роста прочности бетона?

4. Сущность закона водоцементного отношения? Его практическое применение.

5. Что такое класс бетона?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

### ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА ТЯЖЕЛОГО ЦЕМЕНТНОГО БЕТОНА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-РАСЧЕТНЫМ МЕТОДОМ

#### 6.1. Цель работы

1. Освоение методики проектирования оптимального состава бетона экспериментально-расчетным методом.

#### 6.2. Краткие теоретические сведения

Проектирование состава бетона в современном представлении рассматривается как процесс. Реализация системного подхода предусматривает выделение системы входов и выходов регламентирующих параметров, случайных воздействий (рис. 6.1).

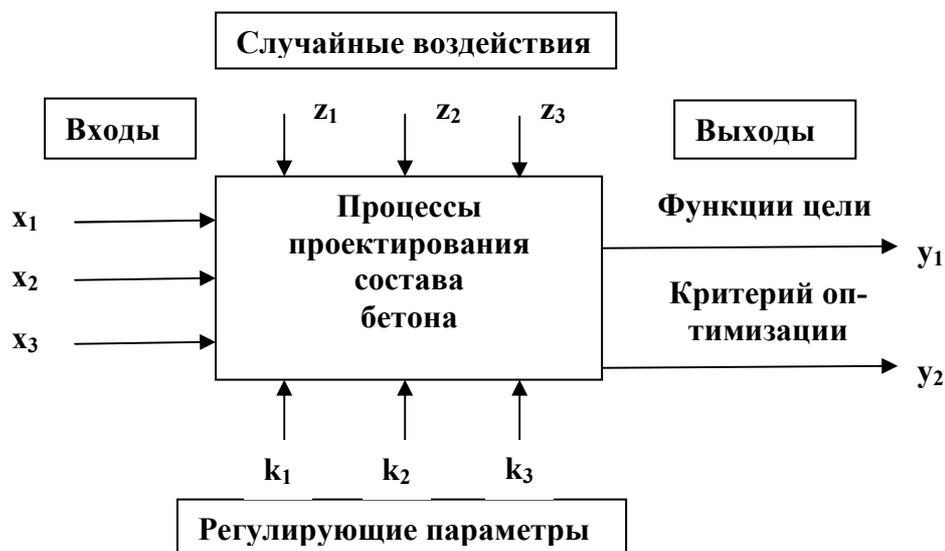
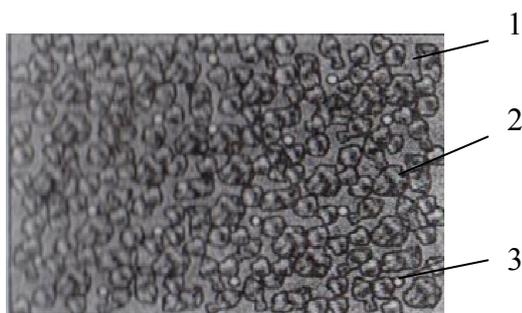


Рис. 6.1. Схема системного подхода к проектированию состава бетона

В качестве входов рассматривают свойства сырьевых материалов, такие как активность, минералогический состав цемента, нормальная плотность цементного теста и др.; гранулометрия заполнителей, их плотность и прочность, геометрия частиц и т.д. К регулирующим параметрам обычно относят режимы перемешивания бетонной смеси, параметры формования и твердения бетона, условия испытания бетонов и др. Выходы представляют в виде функции цели и критерия оптимизации. В качестве функции цели выступают

свойства бетонной смеси и бетона, такие как удобоукладываемость, сохраняемость свойств во времени, расслаиваемость бетонной смеси, прочность, морозостойкость, усадка и деформативность бетона. Свойства бетонной смеси и бетона определяются в значительной степени их структурой.

Согласно современным представлениям высокие показатели свойств тяжелого бетона обеспечиваются при формировании структуры, характеризующейся максимальной плотностью упаковки составляющих, минимальным водоцементным отношением и содержанием вовлеченного воздуха (рис. 6.2).



**Рис. 6.2. Структура тяжелого бетона:**

- 1 – цементный раствор;
- 2 – заполнитель (мелкий и крупный);
- 3 – воздушные пузырьки

В качестве критерия оптимизации при проектировании состава бетона обычно выступают непосредственно экономический показатель, например, в виде удельных затрат на единицу объема бетона, или опосредованный показатель, позволяющий оценить экономическую эффективность принятых решений. Таким показателем часто является количество цемента на единицу

объема бетона по причине его относительно большого расхода и стоимости [11].

Проектирование состава бетона может быть осуществлено по различным методикам, но в основе каждой из них должны быть заложены фундаментальные количественные закономерности технологии бетонов, которые определяют характеристики и параметры структуры, обеспечивающие комплекс задаваемых свойств и позволяющие экспериментальным и расчетным путями оптимизировать состав бетона.

Основными этапами оптимизации состава бетона являются:

- назначение требований к бетону исходя из вида и особенностей изготовления и службы конструкции;
- выбор и испытания свойств материалов для бетона;
- определение расчетного состава бетона;
- экспериментальное определение свойств бетонной смеси и бетона;
- экспериментальная корректировка составов и свойств бетонной смеси и бетона;
- назначение окончательного состава бетона.

Результатом проектирования и назначения оптимального состава бетонной смеси для получения бетона с заданными свойствами является:

- рациональное количество вяжущего вещества с заданной активностью;
- необходимое количество воды затворения;

- рациональный фракционный состав заполнителей, в том числе наибольшая крупность заполнителя, число фракций, соотношение крупного и мелкого заполнителей;

- дозировка химических и минеральных добавок, вводимых микронаполнителей и др.

Различают лабораторный и рабочий («полевой») составы бетонов [3].

Оптимизацию лабораторного состава бетона проводят на специально подготовленных сырьевых материалах, например, заполнители просеивают и высушивают. Испытания проводят при стандартных режимах перемешивания, уплотнения и твердения.

На основе лабораторного состава бетона определяют его рабочий состав с учетом производственных условий, а именно с учетом свойств поставляемых предприятию сырьевых материалов, режимов работы заводского оборудования для дозирования, перемешивания, транспортирования, укладки, уплотнения и твердения.

В данной работе приводится экспериментально-расчетный метод проектирования оптимального состава тяжелого цементного бетона, разработанный на кафедре технологии строительных изделий и конструкций ВГАСУ под руководством проф. В.В. Помазкова [8].

### **6.3. Оборудование, приборы, инструменты и сырьевые материалы**

Лабораторный смеситель принудительного действия; лабораторная виброплощадка; прибор Вебе для определения жесткости бетонной смеси (ГОСТ 10181-2014); секундомеры; весы лабораторные общего назначения с точностью взвешивания до 5 г (ГОСТ 24104-88\*); весы технические с точностью взвешивания до 0,01 г; разновесы; мерные цилиндры емкостью 250, 500, 1000 мл (ГОСТ 1770-74), кельмы, совки, емкости для взвешивания материалов; пресс гидравлический; лабораторная пропарочная камера; калькулятор. Сырьевые материалы: цемент (ГОСТ 10178-85, 31108-2016), песок природный сухой (ГОСТ 8736-2014), щебень из плотных горных пород сухой (ГОСТ 8267-93\*\*), вода (ГОСТ 23732-2011).

### **6.4. Рабочее задание**

Запроектировать и назначить оптимальный состав тяжёлого цементного бетона с заданными показателями удобоукладываемости и классом бетона по прочности.

### **6.5. Методика выполнения и результаты работы**

При проектировании оптимального состава тяжелого цементного бетона используют аналитические зависимости реологической характеристики (жесткости) бетонной смеси от ее состава (лаб. раб. № 4) и прочности бетона от водоцементного отношения (лаб. раб. № 5).

Проектирование состава тяжелого цементного бетона осуществляют в следующей последовательности.

Студенческая подгруппа разбивается на 3 звена, каждое из которых получает задание на проектирование оптимального состава тяжелого бетона, в котором указывается требуемый класс по прочности бетона и реологическая характеристика бетонной смеси.

Из зависимости  $R_b = f(B/C)$  находят величину водоцементного отношения, обеспечивающую получение заданного класса по прочности бетона. Для найденного водоцементного отношения выбирают соответствующую зависимость реологической характеристики бетонной смеси от ее состава. На оптимальной расходу цемента кривой в соответствии с выбранной жесткостью бетонной смеси находят соотношения

$$B_{\text{п}} = \frac{V_{\text{п}}}{V_{\text{ц.т.}}} \text{ и } B = \frac{B_{\text{п}} + B_{\text{щ}}}{V_{\text{ц.т.}}} \quad (6.1)$$

Состав бетонной смеси рассчитывают по системе уравнений 5.4 и 5.5. Решая систему уравнений 5.4, первоначально определяют объемы песка  $V_{\text{п}}$  и щебня  $V_{\text{щ}}$  и объем цементного теста  $V_{\text{ц.т.}}$ .

$$V_{\text{ц.т.}} = V_{\text{ц}} + V_{\text{в}}, \text{ л.} \quad (6.2)$$

Затем, используя систему уравнений 5.5, массу воды  $m_{\text{в}}$  и массу цемента  $m_{\text{ц}}$ , после чего рассчитывают массу песка  $m_{\text{п}}$  и массу щебня  $m_{\text{щ}}$ .

Каждое звено готовит бетонную смесь с заданным водоцементным отношением, обеспечивающим требуемый класс по прочности (или марку) бетона. Проводят контрольное определение показателя удобоукладываемости бетонной смеси, для корректировки которого используют оптимальную по расходу цемента кривую зависимости жесткости бетонной смеси от ее состава. При повышенном показателе жесткости бетонной смеси на кривой выбирают состав с меньшим соотношением  $V_{\text{п}} + V_{\text{щ}}$ , то есть с меньшим содержанием заполнителей. В случае пониженного показателя жесткости выбирают состав с большей величиной  $V_{\text{п}} + V_{\text{щ}} + V_{\text{ц.т.}}$ , то есть с большим содержанием заполнителей. Изготавливают 6 образцов размером  $150 \times 150 \times 150$  мм (допускается применение образцов размером  $100 \times 100 \times 100$  и  $200 \times 200 \times 200$  мм). Уплотнение образцов осуществляют на лабораторной виброплощадке со временем уплотнения, равным 2Ж. Режим твердения образцов могут принять как нормальный, так и ускоренный путем пропаривания в лабораторной пропарочной камере.

После твердения образцы-кубы испытывают с целью определения предела прочности при сжатии образцов и среднего значения предела прочности при сжатии, которое приводят к стандартному показателю прочности – к прочности образцов размером  $150 \times 150 \times 150$  мм. Производят статистическую обработку полученных результатов средней прочности (по 5.6 – 5.8).

Результаты испытаний заносят в табл. 6.1.

По полученным показателям средней прочности бетона строят график зависимости прочности от В/Ц-отношения, который является основой для корректировки состава бетона по прочности. По результатам испытаний да-

ют оценку полученным показателям средней прочности бетона и коэффициента вариации прочности, определяют класс по прочности бетона. Осуществляют сравнение достигнутого класса по прочности бетона с требуемым классом. В том случае, когда показатели класса бетона отличаются от проектных, проводят корректировку состава бетона, осуществляемую путем изменения В/Ц-отношения. Требуемое количество воды назначают исходя из полученной экспериментальной зависимости прочности бетона от В/Ц-отношения (см. лаб. раб. № 5).

Таблица 6.1

### Результаты испытаний образцов бетона

Величина В/Ц-отношения	$V_{\text{п}} = V_{\text{п}}/V_{\text{п.т}}$	$B = V_{\text{зап}}/V_{\text{п.т}}$	Расход сырьевых материалов на 1 м <sup>3</sup> бетонной смеси, кг				$J_{\text{факт. с}}$	Площадь поверхности испытываемого образца, м <sup>2</sup> (см <sup>2</sup> )	Разрушающая нагрузка, Н, (кГс)	Предел прочности при сжатии. МПа. кГс/см <sup>2</sup> )	Среднее значение предела прочности при сжатии, МПа, (кГс/см <sup>2</sup> )	Коэффициент вариации, %
			цемент	песок	щебень	вода						

### 6.6. Анализ результатов и выводы

Проводят анализ соответствия полученного класса по прочности бетона заданному классу, сравнивают фактический расход цемента в бетоне с нормативными показателями согласно СНиП 82-02-95 «Федеральные (типовые) элементные нормы расхода цемента при изготовлении бетонных и железобетонных изделий и конструкций». По результатам анализа формулируют выводы в соответствии с целью и задачами лабораторной работы.

### 6.7. Контрольные вопросы

1. Основные этапы проектирования оптимального состава бетона экспериментально-расчетным методом?

2. Какие характеристики и свойства цемента оказывают влияние на реологические свойства цементного теста?
3. Как влияет соотношение объема мелкого заполнителя и объема цементного теста на свойства растворной составляющей бетона?
4. Каково влияние соотношения объемов заполнителей и объема цементного теста на свойства бетонных смесей?
5. Как проводится статистическая обработка результатов испытаний бетона на прочность при сжатии?
6. Последовательность корректировки состава бетона при его проектировании.

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7**

### **ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА ТЯЖЁЛОГО ЦЕМЕНТНОГО БЕТОНА РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ МЕТОДОМ**

#### **7.1. Цель работы**

Получение практических навыков проектирования состава тяжелого цементного бетона расчетно-экспериментальным методом.

#### **7.2. Краткие теоретические сведения**

В данной лабораторной работе изложен известный и широко применяемый расчетно-экспериментальный метод подбора состава тяжелого бетона, основные положения которого были разработаны проф. Н.М. Беляевым и развиты проф. Б.Г. Скрамтаевым и проф. Ю.М. Баженовым.

#### **7.3. Оборудование, приборы, инструменты и сырьевые материалы**

Лабораторный смеситель принудительного действия; лабораторная виброплощадка; прибор Вебе для определения жесткости бетонной смеси (ГОСТ 10181-2014); секундомеры; весы лабораторные общего назначения с точностью взвешивания 5 г (ГОСТ 24104-88\*); разновесы; мерные цилиндры емкостью 250, 500, 1000 мл (ГОСТ 1770-74); кельмы, совки, емкости для взвешивания материалов; пресс гидравлический. Сырьевые материалы: цемент (ГОСТ 10178-85, 21108-2016), песок природный сухой (ГОСТ 8736-2014), щебень из плотных горных пород сухой (ГОСТ 8267-93\*\*, вода (ГОСТ 23732-2011), принимаются с известными характеристиками, определенными при выполнении лаб. раб. № 1.

#### **7.4. Рабочее задание**

Подобрать состав тяжелого цементного бетона заданного класса по прочности с требуемой реологической характеристикой.

## 7.5. Методика выполнения и результаты работы

Подбор составов тяжёлого цементного бетона осуществляют в следующей последовательности.

Студенческая подгруппа разделяется на три звена, каждое из которых получает задание на проектирование состава тяжелого цементного бетона, где указываются требуемые класс по прочности бетона и удобоукладываемость бетонной смеси.

Последовательность расчета состава бетона заключается в следующем.

1. Ориентировочно рассчитывают В/Ц-отношение в зависимости от требуемой прочности бетона по формулам

- для обычного бетона (при  $V/C > 0,4$ )

$$B/C = \frac{A \cdot R_u}{(R_b + A \cdot 0,5R_u)}, \quad (7.1)$$

- для высокопрочного бетона (при  $V/C < 0,4$ )

$$B/C = \frac{A_1 \cdot R_u}{(R_b - A_1 \cdot 0,5R_u)}, \quad (7.2)$$

где  $R_u$  – активность цемента, МПа;

$R_b$  – прочность бетона при сжатии, МПа;

$A, A_1$  – коэффициенты, учитывающие качество заполнителей.

Значения коэффициентов  $A$  и  $A_1$  принимают по табл. 7.1.

Таблица 7.1

### Значения коэффициентов $A$ и $A_1$

Материалы для бетона	$A$	$A_1$
Высококачественные	0,65	0,43
Рядовые	0,60	0,40
Пониженного качества	0,55	0,37

**Примечание.** К высококачественным материалам относятся чистые заполнители (щебень из плотных горных пород высокой прочности, фракционированный песок оптимальной крупности) и портландцемент высокой активности без добавок или с минимальным количеством гидравлической добавки. К рядовым материалам относятся заполнитель из гравия, щебень средней прочности, портландцемент средней активности или высокомарочный шлакопортландцемент. Материалы пониженного качества: крупный заполнитель с минимально допустимой прочностью и загрязнением, пески мелкие, цементы низкой активности.

Возможно также определение В/Ц-отношения по графикам, приведенным в работах [1, 2].

Формулу (7.1) рекомендуется применять при выполнении условия

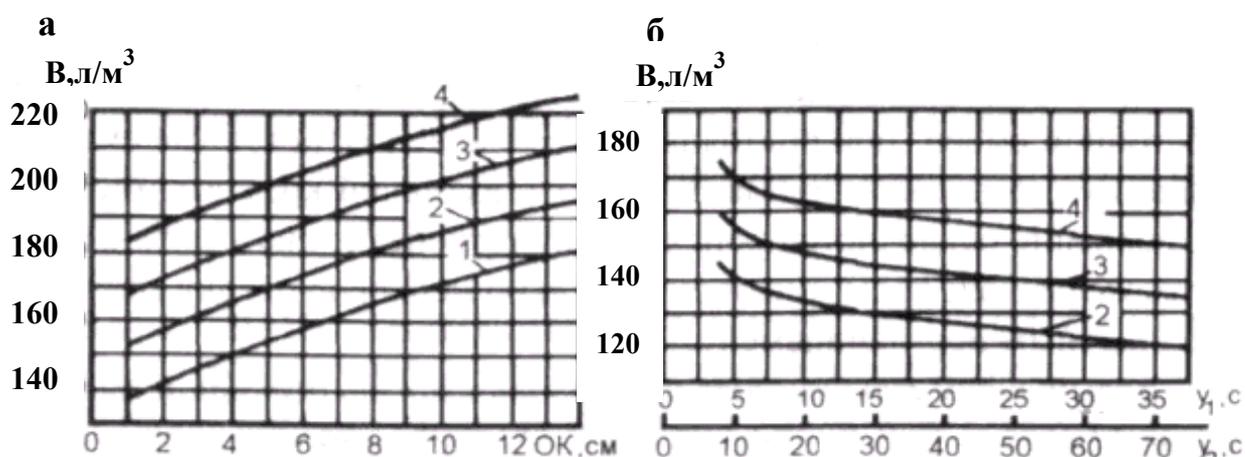
$$R_b < 2AR_u, \quad (7.3)$$

в противном случае используют формулу (7.2).

2. Определяют расход воды в зависимости от требуемой удобоукладываемости бетонной смеси ориентировочно по графику (рис. 7.1). При этом водопоглощение крупного заполнителя необходимо учитывать, если его величина больше 0,5 %.

Если применяется мелкий песок с водопотребностью свыше 7 %, то расход воды увеличивают на 5 л на каждый процент увеличения водопотребности; при применении крупного песка с водопотребностью ниже 7 % расход воды уменьшают на 5 л на каждый процент уменьшения водопотребности.

При использовании щебня расход воды увеличивают на 10 л.



**Рис. 7.1. График водопотребности  $V$  пластичной (а) и жесткой (б) бетонной смеси: смесь изготовлена с применением портландцемента, песка средней крупности (водопотребность 7 %) и гравия наибольшей крупности: 1 - 80 мм; 2 - 40 мм, 3 - 20 мм; 4 - 10 мм;**

$y_1, y_2$  – показатели жесткости, определенные соответственно на стандартном приборе и по способу Б.Г. Скрамтаева

При расходе цемента свыше 400 кг на 1 м<sup>3</sup> бетона расход воды увеличивают на 10 л на каждые 100 кг цемента.

Если расход цемента на 1 м<sup>3</sup> бетона окажется ниже допустимого по СНиП 82-02-95, то его следует увеличить до требуемой нормы. В этом случае для сокращения расхода цемента рекомендуется вводить в бетонную смесь тонкомолотую минеральную добавку, например, известняк.

4. Определяют расход щебня (гравия) исходя из положения, что цементный раствор в бетонной смеси заполняет межзерновые пустоты крупного заполнителя с некоторой раздвижкой его частиц

$$Щ = 1000 / \left( \alpha \cdot P_{щ} / \rho_{щ} + 1 / \gamma_{щ} \right), \quad (7.4)$$

где  $P_{щ}$  – пустотность щебня;

$\rho_{щ}$  - насыпная плотность щебня, кг/л;

$\gamma_{щ}$  - истинная плотность щебня, кг/л;

$\alpha$  – коэффициент раздвижки зёрен.

Устанавливают коэффициент раздвижки зёрен заполнителей  $\alpha$ , который для пластичных бетонных смесей принимают по табл. 7.2 в зависимости от количества цементного теста, а для жёстких бетонных смесей  $\alpha$  принимают равным 1,05 - 1,15. При других значениях расхода цемента и В/Ц-отношениях коэффициент  $\alpha$  находится интерполяцией.

Таблица 7.2

**Значения коэффициента  $\alpha$  для пластичных бетонных смесей  
(при водопотребности песка 7 %)**

Расход цемента, кг/м <sup>3</sup>	Значения коэффициента $\alpha$ 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	-	-	-
500	1,5	1,56	-	-	-

*Примечание.* В случае применения мелких песков с водопотребностью более 7 % коэффициент  $\alpha$  уменьшают на 0,03 на каждый процент повышения водопотребности песка. При применении крупного песка с водопотребностью менее 7 % коэффициент  $\alpha$  увеличивают на 0,03 на каждый процент уменьшения водопотребности

5. Определяют расход песка

$$П = \gamma_n (1000 - Ц/\gamma_ц - В - Щ/\gamma_{щ}), \quad (7.5)$$

где  $\gamma_n$  - истинная плотность песка, кг/л;

$\gamma_ц$  - истинная плотность цемента, кг/л.

6. Назначают состав бетона и готовят пробный замес объёмом 7 л, проверяют удобоукладываемость бетонной смеси. В случае несоответствия полученной реологической характеристики бетонной смеси (удобоукладываемости) заданному значению, проводят корректировку бетонной смеси путем внесения изменений в состав бетона.

Описание процесса корректировки удобоукладываемости бетонной смеси приведено в лаб. раб. № 2. После корректировки уточняют состав бетона и определяют плотность уплотненной бетонной смеси. Фактический объем полученной бетонной смеси устанавливают по формуле

$$V_{факт} = \frac{m_ц + m_г + m_n + m_{щ}}{\rho_{б.с.м.}}, \quad (7.6)$$

где  $m_{ц}$ ,  $m_{в}$ ,  $m_{п}$ ,  $m_{щ}$  - соответственно расходы цемента, воды, песка и щебня на замес, кг;

$\rho_{б.см.}$  – плотность уплотненной бетонной смеси, кг/л.

Из бетонной смеси откорректированного состава готовят контрольные образцы, которые испытывают после твердения в течение 28 сут в нормальных условиях. В том случае, если средняя прочность бетона отличается от заданной прочности более чем на  $\pm 15\%$ , вносят изменения в состав бетона. Для повышения прочности бетона снижают В/Ц-отношение путем увеличения расхода цемента. Для уменьшения прочности бетона снижают расход цемента.

### **7.6. Анализ результатов и выводы**

В выводах необходимо дать анализ соответствия фактически полученного класса по прочности бетона заданному и сравнить расход цемента на  $1 \text{ м}^3$  бетона с требованиями СНиП 82-02-95; следует дать оценку преимуществам и недостаткам двух изученных методов проектирования состава тяжелого бетона.

### **7.7. Контрольные вопросы**

1. Каковы основные характеристики макро- и микроструктуры тяжелого цементного бетона?
2. Каковы основные этапы проектирования оптимального состава бетона на расчетно-экспериментальным методом?
3. Как учитывается влияние гранулометрии заполнителей и качество их поверхности на свойства бетонной смеси?
4. Каково влияние отношения объемов заполнителей к объему цементного теста на свойства бетонной смеси?
5. Как учитывается влияние поверхности и межзерновой пустотности заполнителей на расход цемента?
6. Как учитывается влияние соотношения объемов крупного и мелкого заполнителя на реологические свойства бетонной смеси и расход цемента?

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8**

### **ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОСТАВА ЛЕГКОГО БЕТОНА НА ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЯХ**

#### **8.1. Цель работы**

1. Освоить методику проектирования состава легкого бетона на пористых заполнителях.
2. Исследовать влияние основных технологических факторов на заданные параметры легкого бетона.

## 8.2. Краткие теоретические сведения

Легкие бетоны на пористых заполнителях применяются в ограждающих конструкциях с целью повышения их теплозащитных свойств и для снижения массы несущих конструкций. В связи с этим для них наряду с прочностью большое значение имеет плотность бетона.

По средней плотности различают особо легкие, теплоизоляционные бетоны с плотностью в высушенном состоянии менее  $500 \text{ кг/м}^3$  и легкие бетоны с плотностью  $500 \dots 1800 \text{ кг/м}^3$ . Обычно легкие бетоны подразделяют на конструкционно-теплоизоляционные со средней плотностью  $500 \dots 1400 \text{ кг/м}^3$  и прочностью  $2 \dots 10 \text{ МПа}$  и конструкционные со средней плотностью  $1400 \dots 1800 \text{ кг/м}^3$  и прочностью  $10 \dots 30 \text{ МПа}$ .

По структуре различают плотные легкие бетоны, в которых раствор на тяжелом или легком песке полностью заполняет межзерновые пустоты крупного заполнителя, поризованные легкие бетоны и крупнопористые легкие бетоны, в которых не содержится песка и сохраняются межзерновые пустоты. В строительстве используют легкие бетоны с наибольшей крупностью заполнителя  $20 \dots 40 \text{ мм}$ .

Прочность легких бетонов, как и тяжелых, зависит, в первую очередь, от В/Ц – отношения, так как оно определяет свойства цементного камня, скрепляющего все составляющие бетона в единый монолит. Однако необходимо учитывать тот факт, что пористые заполнители вследствие особенностей своей структуры имеют прочность ниже прочности цементного раствора. Поэтому их введение приводит к снижению прочности легкого бетона, причем тем в большей степени, чем больше содержание легкого заполнителя в бетоне и чем меньше его плотность.

Для получения легкого бетона разных классов (марок) по прочности следует так выбирать прочность заполнителя, чтобы обеспечить рациональное использование цемента, а количество крупного пористого заполнителя должно соответствовать его оптимальной концентрации в бетоне (объем заполнителя, содержащегося в  $1 \text{ м}^3$  бетона). При проектировании состава легкого бетона на пористых заполнителях необходимо учитывать эти особенности влияния заполнителя на прочность бетона.

Пористые заполнители обладают значительным водопоглощением, поэтому при приготовлении легкой бетонной смеси для сохранения ее заданной подвижности расход воды приходится увеличивать. Повышенное водопоглощение пористого заполнителя уменьшает склонность бетонной смеси к расслаиванию. Высокая шероховатость поверхности легких заполнителей обеспечивает лучшее сцепление между цементным тестом и зёрнами заполнителя, а значительная деформативность заполнителя способствует предотвращению усадочных микротрещин. В результате в легких бетонах на пористых заполнителях цементный камень может обладать достаточной плотностью и однородностью, что повышает его качество. Такое влияние пористого

заполнителя учитывают при проектировании состава легкого бетона, осуществляемого расчетно-экспериментальным методом.

### **8.3. Оборудование, приборы, инструменты и сырьевые материалы**

Лабораторный смеситель принудительного действия; лабораторная виброплощадка; пресс гидравлический; весы лабораторные общего назначения с точностью взвешивания  $\pm 5$  г (ГОСТ 24104-88\*); разновесы; мерные цилиндры емкостью 250, 500, 1000 мл (ГОСТ 1770-74); кельмы, совки; цилиндрический сосуд емкостью 1000 мл; емкости для взвешивания материалов; образцы-кубы размером  $100 \times 100 \times 100$  мм (ГОСТ 22685-89\*); металлические линейки (ГОСТ 427-75\*); сушильный шкаф (ТУ 16.681.032). Сырьевые материалы: цемент (ГОСТ 10178-85, 21108-2016), песок природный сухой (ГОСТ 8736-2014), гравий керамзитовый сухой (ГОСТ 9757-90), вода (ГОСТ 23732-2011).

### **8.4. Рабочее задание**

Подобрать состав легкого бетона на основе керамзитового гравия с заданными свойствами: классом по прочности, маркой по средней плотности бетона и маркой по удобоукладываемости бетонной смеси.

### **8.5. Методика выполнения и результаты работы**

Подбор состава легкого бетона на основе керамзитового гравия – керамзитобетона - осуществляют в следующей последовательности [2].

Студенческая подгруппа распределяется на 3 звена. Каждому звену выдают индивидуальное задание на подбор состава керамзитобетона, в котором преподаватель указывает класс по прочности бетона, марку по средней плотности и марку по удобоукладываемости бетонной смеси.

Предварительно определяют следующие характеристики сырьевых материалов: межзерновую пустотность, крупность заполнителя; плотность крупного -  $\rho_{з.кр.}$  - и мелкого -  $\rho_{з.н}$  - заполнителей в цементном тесте; водопоглощение заполнителей.

Работу выполняют в 3 этапа.

На первом этапе назначают ориентировочные расходы составляющих материалов на  $1 \text{ м}^3$  бетонной смеси.

1. Определяют ориентировочный расход цемента (табл. 8.1) в зависимости от заданного класса по прочности бетона и марки по средней плотности, удобоукладываемости бетонной смеси с учетом вида и марки цемента, вида и характеристики пористого заполнителя.

По табл. 8.2 уточняют расход цемента в зависимости от прочности бетона, марки цемента, вида и гранулометрии заполнителей, удобоукладываемости бетонной смеси.

Таблица 8.1

**Ориентировочный расход цемента (кг/м<sup>3</sup>) для расчета  
состава бетонов на пористых заполнителях с предельной крупностью  
20 мм, плотном песке и с жесткостью бетонной смеси 5...8 с**

Прочность бетона, МПа	Рекомен- дуемая марка це- мента	Марка пористого заполнителя по прочности зерна						
		75	100	125	150	200	250	300
15	400	300	280	260	240	230	220	210
20	400	-	340	320	300	230	260	250
25	400	-	-	390	260	330	310	290
30	500	-	-	-	420	390	360	330
35	500	-	-	-	-	450	410	380
40	500	-	-	-	-	-	480	450
50	600	-	-	-	-	-	570	540

Таблица 8.2

**Коэффициенты изменения расхода цемента при изменении  
его марки, вида песка, предельной крупности заполнителя  
и подвижности бетонной смеси**

Характеристи- ка материалов	Прочность бетона, МПа						
	15	20	25	30	35	40	50
Цемент марки:							
300	1,15	1,2	-	-	1,2	-	-
400	1,0	1,0	1,0	1,5	1,0	1,25	-
500	0,9	0,88	0,85	1,0	0,88	1,1	1,1
600	-	-	0,85	0,9		0,85	1,0
Песок:							
плотный	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
пористый	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
Наибольшая крупность за- полнителя, мм:							
40	0,9	0,9	0,93	0,93	0,95	0,95	0,95
20	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
10	1,1	1,1	1,07	1,07	1,05	1,05	1,05
Подвижность, см:							
1...2							
2...5	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07
8...12	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25

2. Назначают ориентировочный начальный расход воды ( $B_0$ ) в соответствии с заданным показателем удобоукладываемости смеси по табл. 8.3 в зависимости от вида крупного заполнителя.

Таблица 8.3

**Ориентировочный начальный расход воды (л/м<sup>3</sup>)  
для приготовления бетонной смеси с использованием  
плотного песка и природного крупного заполнителя**

Осадка конуса, см	Жесткость, с	Предельная крупность, мм:					
		гравия			щебня		
		10	20	40	10	20	40
8...12	-	235	220	205	265	250	235
3...7	-	220	205	190	245	230	215
1...2	3...5	205	190	175	225	210	195
-	5...8	195	180	165	215	200	185
-	8...12	185	170	160	200	185	175
-	12...20	175	160	150	190	175	165

3. Рассчитывают ориентировочный расход крупного и мелкого заполнителя в кг на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси исходя из заданной средней плотности легкого бетона в сухом состоянии по формуле

$$Z_{кр} = 1000 \cdot \varphi \cdot \rho_{з.кр.}, \quad (8.1)$$

где  $\rho_{з.кр.}$  - плотность крупного заполнителя в цементном тесте, кг/л;

$\varphi$  - оптимальная объемная концентрация крупного заполнителя.

Оптимальную объемную концентрацию крупного заполнителя назначают в зависимости от удобоукладываемости бетонной смеси и межзерновой пустотности крупного заполнителя по табл. 8.4.

Таблица 8.4

**Оптимальная объемная концентрация крупного заполнителя**

Межзерновая пустотность	Оптимальная объемная концентрация при			Межзерновая пустотность	Оптимальная объемная концентрация при		
	жесткости выше 10 с	подвижности 1...3 см или жесткости 3...10 с	подвижности выше 3 см		жесткости выше 10 с	подвижности 1...3 см или жесткости 3...10 с	подвижности выше 3 см
0,36	0,52	0,49	0,47	0,46	0,42	0,39	0,37
0,38	0,50	0,47	0,45	0,48	0,40	0,37	0,35
0,40	0,48	0,45	0,43	0,50	0,38	0,35	0,33
0,42	0,46	0,43	0,41	0,52	0,36	0,33	0,31
0,44	0,44	0,41	0,39	0,54	0,34	0,31	0,29

Расход плотного песка определяют в зависимости от плотности бетона и расходов цемента и крупного заполнителя по формуле

$$П = \rho'_б - 1,15Ц - З_{кр}, \quad (8.2)$$

где  $\rho'_б$  - плотность бетона в сухом состоянии, кг/м<sup>3</sup>;

$Ц$  - расход цемента, кг;

$З_{кр}$  - расход крупного заполнителя, кг.

Общий расход воды уточняют по формулам:

$$B = B_0 + B_1 + B_2 + B_3, \quad (8.3)$$

$$B_1 = 0,02 \cdot \frac{П}{\rho'_{з.п.}} (B_{II} - 7); \quad (8.4)$$

$$B_2 = 0,15 \cdot (Ц - 450); \quad (8.5)$$

$$B_3 = 2000 \cdot (\varphi - 0,37)^2, \quad (8.6)$$

где  $B_1$  - поправка, вводимая при водопотребности песка, превышающей 7 %;

$B_2$  - поправка на увеличение водопотребности бетона при расходах цемента, больших 450 кг/м<sup>3</sup>;

$B_3$  - поправка, учитывающая повышенную концентрацию крупного заполнителя;

$П$  - расход песка, кг, на 1 м<sup>3</sup> бетона

$\rho'_{з.п.}$  - плотность мелкого заполнителя в цементном тесте, кг/л;

$B_{II}$  - водопотребность песка, л;

$Ц$  - расход цемента, кг;

$\varphi$  - концентрация крупного заполнителя.

После определения расхода материалов на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси при принятом значении расхода цемента аналогично рассчитывают расходы материалов для двух других составов, отличающихся расходом цемента на 20 - 25 % в большую и меньшую сторону по отношению к принятому. Затем определяют расходы сырьевых материалов для каждого состава.

На втором этапе готовят опытные замесы с корректировкой расхода воды в каждом из них для получения заданной удобоукладываемости бетонной смеси. Для корректировки расхода воды изготавливают три серии бетонной смеси с объемом замеса 1,5 - 2 л с расходом воды, отличающимся на 10 - 20 % в большую и меньшую сторону от принятого значения количества воды\*.

Для каждой серии при разных расходах воды определяют среднюю плотность бетонной смеси с помощью цилиндрического сосуда емкостью 1 л при уплотнении смеси на виброплощадке в течение 20 с. Затем строят графическую зависимость средней плотности смеси от расхода воды при постоянном принятом времени уплотнения, и по ней уточняют количество воды, обеспечивающее получение заданной средней плотности бетонной смеси.

Для каждого состава, исходя из полученной средней плотности бе-

\* После корректировки этих составов, отличающихся количеством цемента, строят графическую зависимость расхода воды от расхода цемента

тонной смеси в уплотненном состоянии, определяют фактический расход материалов на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси. Из бетонной смеси каждого состава объемом 7 л изготавливают шесть образцов-кубов размером 100 × 100 × 100 мм с их последующим твердением в нормальных условиях в течение 28 сут или при ускоренном твердении образцов в лабораторной пропарочной камере. После этого образцы высушивают до постоянной массы с целью определения средней плотности керамзитобетона в сухом состоянии и для определения прочности бетона при сжатии.

По полученным результатам строят графические зависимости прочности и средней плотности при сжатии керамзитобетона от расхода цемента.

На третьем этапе назначение искомого состава керамзитобетона, удовлетворяющего требованиям, указанным в задании, делают с помощью метода графической интерполяции на основе полученных зависимостей: прочности керамзитобетона, средней плотности и количества воды от расхода цемента. Для этого вначале по зависимости  $R_{сж} = f(m_ц)$  определяют необходимый расход цемента, обеспечивающий заданную прочность керамзитобетона; зная расход цемента и используя зависимость  $\rho_{б.сух.} = f(m_ц)$ , находят соответствующую среднюю плотность бетона и после этого по зависимости  $m_в = f(m_ц)$  уточняют водосодержание бетонной смеси.

Расход заполнителей определяют с учетом фактической полученной интерполированием средней плотности уплотненной бетонной смеси. Для этого необходимо выполнить еще две серии аналогичных опытов - по три замеса в каждой серии соответственно трем принятым расходам цемента при двух значениях величины  $r$  - с увеличенным и с уменьшенным на 10 % от исходного содержания песка в первой серии.

В результате вместо одной кривой на каждой зависимости  $R_{сж} = f(m_ц)$ ,  $m_в = f(m_ц)$  и  $\rho_{б.сух.} = f(m_ц)$  будет по три кривых для каждого значения  $r$ .

Оптимальное количество заполнителя должно обеспечить заданные показатели по удобоукладываемости бетонной смеси, средней плотности и прочности при сжатии керамзитобетона при наименьшем расходе цемента.

На основании комплекса выполненных исследований назначают окончательный состав керамзитобетона, отвечающий заданным параметрам.

Результаты расчетов и испытаний, выполненные каждым звеном заносят в табл. 8.5.

## 8.6. Анализ результатов и выводы

В выводах дают сравнительную оценку соответствия полученных результатов испытаний запроектированного состава керамзитобетона заданным показателям класса по прочности, средней плотности бетона и удобоукладываемости бетонной смеси.

### Результаты проектирования состава керамзитобетона

Заданные параметры			Результаты испытаний			Фактический расход материалов на 1м <sup>3</sup> бетонной смеси, кг				
Класс по прочности на сжатие	Марка по средней плотности	Марка по удобоукладываемости	Средняя прочность при сжатии, МПа	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Удобоукладываемость		Цемент	Песок	Керамзитовый гравий	Вода
					ОК, см	Ж, с				

### 8.7. Контрольные вопросы

1. Какой метод заложен в основу проектирования состава легкого бетона?
2. Какие технологические факторы влияют на основные свойства керамзитобетона?
3. Каковы основные этапы проектирования состава керамзитобетона?
4. Какие виды заполнителей могут применяться для получения легкого бетона?
5. Каким образом назначается ориентировочный расход цемента в керамзитобетоне?

## Раздел «ЗАВОДСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ»

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ПЕРЕМЕШИВАНИЯ БЕТОННОЙ СМЕСИ НА ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНОГО БЕТОНА

##### 9.1. Цель работы

Изучение влияния режимов перемешивания на свойства бетонной смеси и бетона.

##### 9.2. Краткие теоретические сведения

Свойства бетонной смеси и бетона определяются не только качеством исходных материалов, составом смесей, но и в значительной степени условиями их приготовления. При приготовлении бетонной смеси стремятся достичь высокой однородности смеси, от которой зависит прочность и однородность по прочности, деформативность и другие свойства бетона, определяющие несущую способность и долговечность бетонных и железобетонных конструкций.

Перемешивание обеспечивается относительным перемещением компонентов бетонной смеси. Однородность смеси получается тем выше, чем большее число компонентов вовлекается в движение по возможно большему числу траекторий. Такому движению препятствуют силы различной природы, основными из которых являются силы внутреннего трения или вязкие силы. Эти силы зависят от концентрации, гранулометрии заполнителей, напряжений и скоростей относительного сдвига, определяющего перемещение компонентов бетонной смеси при перемешивании. На рис. 9.1 приведены реологические кривые, характерные для структурированных систем, к которым относятся бетонные смеси. Эти зависимости устанавливают связь между упруго-вязко-пластичными свойствами материала и напряжением сдвига, дают общую оценку реологическим свойствам рассматриваемых систем, позволяют обосновать режимы приготовления бетонной смеси [4, 8].

На реологической кривой (рис. 9.1, а) выделяется три основных участка. При напряжении, меньшем  $\sigma_0$ , называемом предельным напряжением сдвига, система проявляет упругие свойства, и после снятия напряжения упруго восстанавливает свою форму. В диапазоне напряжений  $\sigma_0 - \sigma_1$  происходит течение системы с необратимым изменением формы.

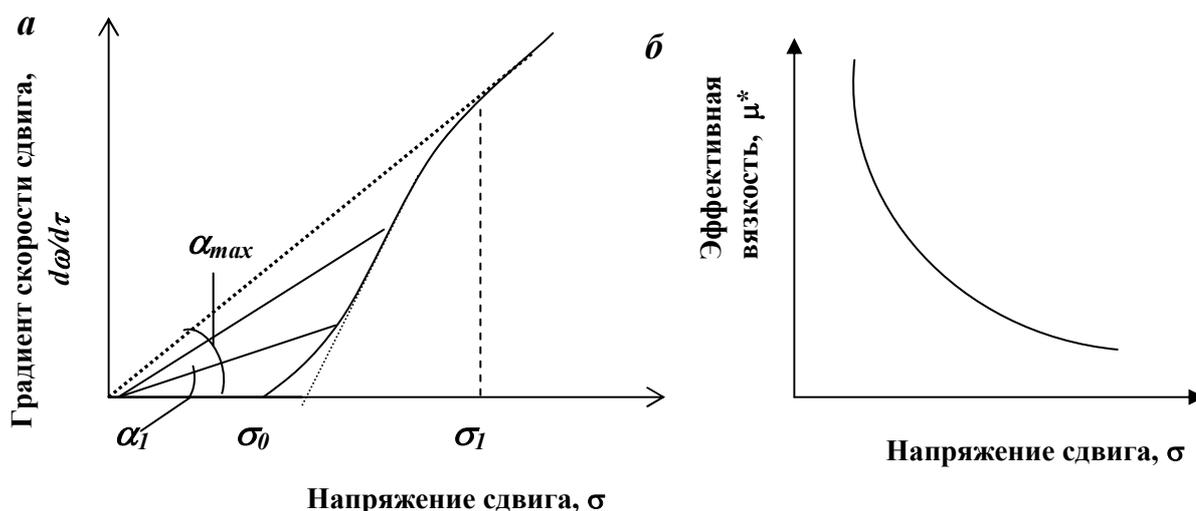


Рис. 9.1. Реологические кривые структурированных дисперсно-зернистых систем

Реологические свойства этого состояния системы характеризуются показателем эффективной вязкости  $\mu^*$ , учитывающим ее вязко-пластичные свойства. Коэффициент эффективной вязкости определяется как

$$\mu^* = ctg \alpha, \quad (9.1)$$

где  $\alpha$  - угол наклона секущей ОА к оси напряжений (рис. 9.1, а).

При напряжении, превышающем  $\sigma_1$ , которое можно назвать критическим, величина эффективной вязкости с ростом напряжения сдвига практически остается неизменной и минимальной. Такое поведение бетонных смесей объясняется особенностью их структуры. Бетонная смесь содержит в своем составе как зернистые составляющие, представленные мелким и крупным заполнителями, так и дисперсные – в виде цемента. Разжижение таких

систем происходит при относительном перемещении компонентов. Вместе с тем, разжижение дисперсных систем имеет следующие особенности. До напряжений, превышающих предельное напряжение сдвига, сохраняется структура с прочными внутренними связями. В интервале напряжений  $\sigma_0 - \sigma_1$  происходит разрушение связей тем в большей степени, чем больше напряжения. При этом в дисперсной составляющей бетонной смеси в условиях сохранения сложности структуры образуются взаимосвязанные агрегаты (рис. 9.2). В областях напряжений сдвига, обеспечивающих максимальное разжижение (при  $\sigma > \sigma_1$ ) структура, сохраняя сплошность, представлена агрегатами, размеры которых определяются соотношением

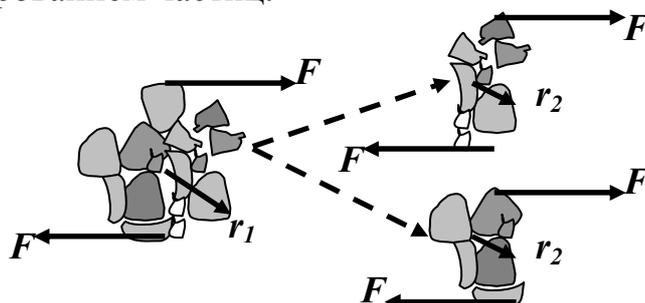
$$R \approx F \cdot r, \quad (9.2)$$

где  $R$  - силы межчастичной связи в агрегате;

$F$  - силы сдвига;  $r$  - радиус агрегатов;

$F \cdot r$  - изгибающий момент, создаваемый силой сдвига на внешних границах агрегата.

Процесс формирования структуры систем сопровождается не только уменьшением размера агрегатов, снижением сил взаимодействия между ними, но и обратными процессами, протекающими параллельно и характеризующимися укрупнением агрегатов. Движущей силой процессов агрегирования является стремление структур к уменьшению межфазной энергии, достигаемому агрегированием частиц.



**Рис. 9.2. Схема распада агрегата в условиях сдвиговых напряжений**

Очевидно, что процесс перемешивания наиболее эффективно протекает при минимальной вязкости бетонной смеси, достигаемой при отмеченных значениях напряжения сдвига, определяемого скоростью перемещения рабочего органа и конструкции смесителя. Учитывая, что процесс перемешивания сопровождается материальными и энергетическими потоками, целесообразно давать оценку его эффективности по энергетическим показателям, например, величинам энергозатрат, а качество перемешивания характеризовать по получаемой однородности бетонной смеси или бетона по прочности.

Процесс перемешивания является вероятностно-детерминированным, и для его оценки используются такие показатели как математическое ожидание, дисперсия, среднеквадратичное отклонение, коэффициент вариации.

### 9.3.Оборудование, приборы, инструменты и сырьевые материалы

Лабораторный смеситель принудительного действия; весы лабораторные общего назначения (ГОСТ 24104-88) с пределом взвешивания до 10 кг, разновесы; мерные цилиндры на 250, 500 и 1000 мл (ГОСТ 1770-74); емкости для взвешивания сырьевых материалов; совки, кельмы; прибор Вебе для определения жесткости бетонной смеси (ГОСТ 10181-2914); конус для определения подвижности бетонной смеси (ГОСТ 10181-2014); секундомер; формы-кубы размером 100 × 100 × 100 мм (ГОСТ 22685-89\*); пресс гидравлический; ваттметр; лабораторная виброплощадка с частотой колебания  $2900 \pm 100$  кол/мин и амплитудой  $0,5 \pm 0,05$  мм. Сырьевые материалы: цемент (ГОСТ 10178-85, 31108-2016), песок природный сухой (ГОСТ 8736-2014), щебень из плотных горных пород сухой (ГОСТ 8267-93\*\*), вода (ГОСТ 23732-2011).

### 9.4. Рабочее задание

1. Изучить зависимость изменения мощности, потребляемой при перемешивании бетонной смеси, от времени перемешивания.
2. Исследовать влияние величины энергозатрат при перемешивании на прочность и однородность бетона по прочности при сжатии.

### 9.5. Методика выполнения и результаты работы

Из студенческой подгруппы формируют три звена. Каждое звено работает с определенным составом бетонной смеси, который задает преподаватель. Время перемешивания бетонной смеси также определяет преподаватель. Каждое звено готовит замес бетонной смеси объемом 7 л для одного заданного времени перемешивания, в течение которого с помощью ваттметра фиксирует количество потребляемой мощности при перемешивании бетонной смеси с интервалом времени 15 с.

Результаты измерения мощности заносят в табл. 9.1.

Таблица 9.1

#### Результаты измерения мощности, затрачиваемой на перемешивание бетонной смеси

Номер замеса	Мощность, развиваемая электродвигателем при перемешивании ( $N_{\text{общ}}$ , Вт), через промежутки времени, с							Мощность холостого хода, Вт
	15	30	45	60	75	90	...	

Затем при незагруженном смесителе замеряют мощность холостого хода, затрачиваемую на преодоление сопротивления в смесителе при его работе.

Данные об изменении мощности в течение времени перемешивания необходимы для расчета величины удельных энергозатрат на перемешивание бетонной смеси. Энергозатраты варьируют либо путем изменения скорости вращения рабочего органа смесителя, либо за счет изменения времени перемешивания. Строят графическую зависимость мощности, затрачиваемой на перемешивание, от времени при выбранной скорости вращения рабочего органа смесителя.

Мощность, необходимую на перемешивание, определяют по формуле

$$N_i = N_{общ} - N_{х.х}, \quad (9.3)$$

где  $N_{общ}$  -  $i$ -ое значение мощности, необходимой для перемешивания в определенном временном интервале, Вт;

$N_{х.х}$  - мощность холостого хода, Вт.

Используя полученную графическую зависимость мощности на перемешивание  $N_i$  от времени перемешивания, рассчитывают удельные энергозатраты на перемешивание бетонной смеси

$$E_{уд} = E_i / V, \quad (9.4)$$

где  $E_{уд}$  - удельные энергозатраты на перемешивание бетонной смеси, кВт·ч/м<sup>3</sup>.

$E_i$  - энергозатраты на перемешивание 7 л бетонной смеси, кВт·ч;

$V$  - объем замеса, л.

Из каждого замеса бетонной смеси с различным принятым временем перемешивания формуют по 6 образцов-кубов размером 100×100×100 мм, уплотнение которых осуществляют на лабораторной виброплощадке при ускорении колебаний, равном 40 м/с<sup>2</sup>. Образцы-кубы твердеют в нормальных условиях в течение 28 суток, после чего их подвергают испытаниям на гидравлическом прессе для определения предела прочности при сжатии.

Результаты испытаний и данные их статистической обработки заносят в табл. 9.2.

Таблица 9.2

### Результаты испытаний и результаты статистической обработки

Время перемешивания, с	Номер образца	Размеры образца, м	Разрушающая нагрузка, Н	Предел прочности при сжатии, МПа	Среднее значение предела прочности при сжатии, МПа	Коэффициент вариации, %

На основании полученных данных строят графические зависимости прочности бетона при сжатии и однородности бетона по прочности от величины удельных энергозатрат на перемешивание.

## **9.6. Анализ результатов и выводы**

По результатам выполненной работы делают вывод о влиянии величины энергозатрат на перемешивание бетонной смеси на прочность при сжатии бетона и его однородность по прочности.

## **9.7. Контрольные вопросы**

1. Какое влияние оказывают параметры процесса перемешивания на свойства бетонной смеси и бетона?
2. Назовите технологические факторы, от которых зависят энергозатраты на перемешивание бетонной смеси.
3. Метод определения удельных энергозатрат на перемешивание бетонной смеси?
4. Как зависит однородность бетона по прочности от энергозатрат на перемешивание бетонной смеси?

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ВИБРОУПЛОТНЕНИЯ БЕТОННОЙ СМЕСИ НА ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНОГО БЕТОНА**

#### **10.1. Цель работы**

1. Изучение влияния вибровязкости бетонной смеси на величину энергозатрат при уплотнении.
2. Изучение зависимости прочности бетона от коэффициента уплотнения бетонной смеси.

#### **10.2. Краткие теоретические сведения**

Передел формования является одним из основных в технологии бетона. На него приходится более 40 % общих трудозатрат. К основным процессам формования относятся: укладка бетонной смеси, формирование геометрии изделий и структуры бетона при его уплотнении, получение поверхности изделий с требуемым качеством. Уплотнение определяется в основном двумя процессами – удалением вовлеченного, главным образом при перемешивании, воздуха и перераспределением составляющих бетонной смеси. Неудаленные воздушные включения и поры существенно уменьшают прочность бетона.

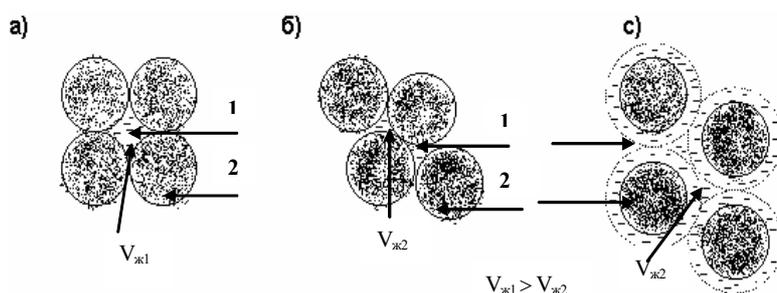
В настоящее время формование бетонных и железобетонных изделий осуществляется безвибрационным и вибрационным способами. На формование изделий вибрационным способом приходится более 80 % уплотняемой бетонной смеси.



**Рис. 10.1. Зависимость вибровязкости бетонной смеси от величины ускорения колебаний:**

$a$  – величина ускорения колебаний, при которой начинается виброожижение

снижении величин соответствующих сил на границах раздела твердой и жидкой фаз, в первую очередь, вследствие изменения свойств связанной воды на границах раздела фаз и снижения величины вязких сил в мелкомасштабном движении. Формирование агрегатов – фрактальных кластеров – предопределяется термодинамическими условиями, согласно которым минимум межфазной энергии систем достигается посредством агрегации частиц, происходящей при действии молекулярных, ионно-электростатических, капиллярно-пленочных и других сил. Сдвиговые напряжения, возникающие при вибрационном воздействии, вызывают относительное движение агрегатов, что способствует их переукладке и уплотнению системы в целом как за счет увеличения концентрации плотных кластеров, так и за счет уплотнения самих кластеров (рис. 10.2).



**Рис. 10.2. Модель, иллюстрирующая изменение пористости дисперсной системы, состоящей из агрегатов без увеличения ее объема:**

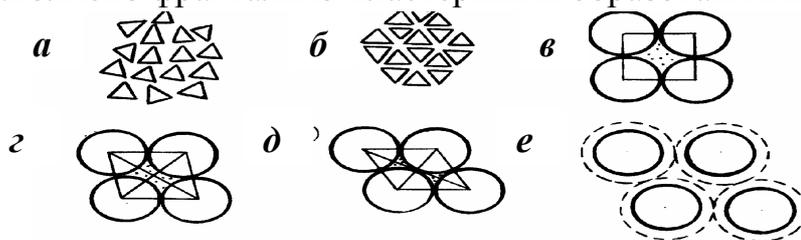
1 – жидкая фаза; 2 – агрегат

Сущность процесса виброуплотнения заключается в следующем. В основе вибрационного воздействия лежит эффект виброожижения бетонной смеси (рис. 10.1), который обусловлен явлением относительно движения составляющих вследствие сдвиговых напряжений и деформаций [8]. Вибрационное воздействие индуцирует физико-химические процессы на различных масштабных уровнях: межфазном, межчастичном, межагрегатном, внутри-и межпоточным, внутриаппаратном [6]. На уровне межфазных взаимодействий эффект вибрационного воздействия проявляется в

Процесс переупаковки агрегатов интенсифицируется относительным пульсационным движением частиц заполнителя. В структурных изменениях бетонной смеси при вибрационных воздействиях проявляется тенденция как к увеличению

концентрации плотных зон в микрогетерогенной составляющей, так и к получению более плотных упаковок из частиц заполнителей. Частицы заполнителей стремятся занять более выгодные положения в пределе, соответ-

вующем идеальным классическим упаковкам, в которых межчастичное пространство заполнено фрактально-кластерными образованиями (рис. 10.3).



**Рис. 10.3. Схема упорядочения макроструктуры бетона при вибрации:**  
*a* - до вибрационного воздействия; *б* - после вибрационного воздействия по Фрейсине; *в, г, д* - изменение пористости зернистого агрегата из одинаковых шаров; *e* - увеличение «свободного» объема зернистого агрегата

Перестройка на всех масштабных уровнях продолжается до установления равновесия между силами вибрационного сдвига и внутренними силами, вследствие чего достигается максимальная степень уплотнения бетонной смеси.

### 10.3. Оборудование, приборы, инструменты и сырьевые материалы

Лабораторная установка для определения вибровязкости и степени уплотнения бетонной смеси; весы лабораторные общего назначения (ГОСТ 24104-85) с пределом взвешивания до 10 кг; разновесы; мерные цилиндры емкостью 250, 500 и 1000 мл (ГОСТ 1770-74); емкости для взвешивания сырьевых материалов; совки, кельмы; секундомер; гидравлический пресс; лабораторный смеситель принудительного действия; формы-кубы размером 100 × 100 × 100, 150 × 150 × 150 мм (ГОСТ 22685-89\*); объемомер; лабораторная пропарочная камера. Сырьевые материалы: цемент (ГОСТ 10178-88, 31108-2016), песок природный сухой (ГОСТ 8736-2014), щебень из плотных горных пород сухой (ГОСТ 8267-93\*\*), вода (ГОСТ 23732-2011).

### 10.4. Рабочее задание

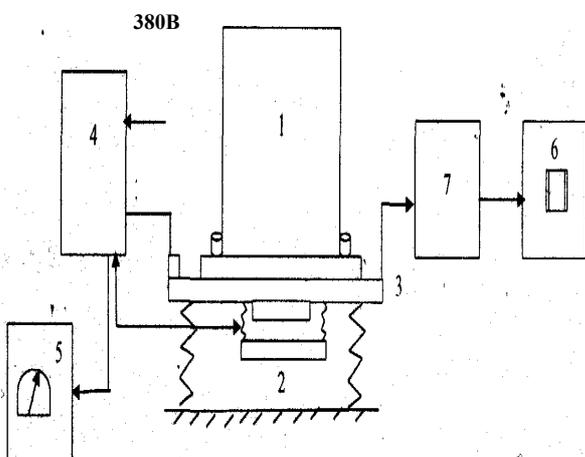
Исследовать влияние величин вибровязкости бетонной смеси на энергозатраты при уплотнении и зависимость прочности бетона при сжатии от степени уплотнения.

### 10.5. Методика выполнения и результаты работы

Студенческая подгруппа разбивается на 3 звена, которые работают с различными составами бетонной смеси, отличающимися величиной удобоукладываемости (жесткости). Составы бетонной смеси задает преподаватель.

Бетонную смесь объемом 5 л готовит каждое звено в лабораторном смесителе принудительного действия. Время перемешивания принимают постоянным и равным 4 мин.

Для проведения исследований бетонную смесь массой 5 кг укладывают без уплотнения в специальную форму-куб размером 150×150×150 мм, которая закрепляется на виброплощадке установки для определения вибровязкости и времени уплотнения бетонной смеси. Схема установки представлена на рис.10.4.



**Рис. 10.4. Схема установки для определения вибровязкости бетонной смеси:**

- 1 - форма с бетонной смесью;
- 2 – виброплощадка; 3 - датчики ускорения колебаний; 4 - система автоматического управления резонансным режимом;
- 5 – ваттметр с самописцем;
- 6 - осциллограф; 7 – виброизмерительная аппаратура

Отличительной особенностью установки является то, что она работает в резонансном режиме, при котором частота вынужденных колебаний равна частоте собственных колебаний подвижной части виброплощадки, включающей раму виброплощадки и форму с бетонной смесью.

Установка оснащена регистрирующими приборами: ваттметром - для замера развиваемой мощности, виброизмерительной аппаратурой и осциллографом для измерения ускорения колебаний.

После включения установки через каждые 5 с с помощью ваттметра регистрируют величину мощности, затрачиваемой на уплотнение бетонной смеси заданного состава. Испытания заканчивают в момент прекращения изменения мощности, что соответствует окончанию процесса уплотнения бетонной смеси. Результаты исследований заносят в табл. 10.1.

Таблица 10.1

### Результаты изучения процесса виброуплотнения бетонной смеси

Состав бетонной смеси	Время виброуплотнения, с	Величина мощности, Вт			Удельная мощность на уплотнение, Вт/кг
		на холостой ход	при уплотнении	на уплотнение бетонной смеси	

По полученным данным строят график зависимости мощности, затрачиваемой на уплотнение бетонной смеси, от времени уплотнения; рассчитывают величину удельной мощности и энергозатраты на уплотнение бетонной смеси.

Вибровязкость  $\eta$  бетонной смеси заданного состава рассчитывают по формуле:

$$\eta = 0,38 \cdot (13,5)^{N_{y\partial}}, \quad (10.1)$$

$$N_{y\partial} = \frac{N_{\min} - N_{x.x.}}{m}, \quad (10.2)$$

где  $N_{\min}$  - минимальная мощность, затрачиваемая в конце процесса уплотнения, Вт;

$N_{x.x.}$  - мощность холостого хода, Вт;

$m$  - масса вибрируемой бетонной смеси, кг.

По данным, полученным студентами всех трех звеньев, строят график зависимости энергозатрат на уплотнение от величины вибровязкости бетонной смеси. Для получения зависимости прочности бетона при сжатии от коэффициента уплотнения выбирают на графике зависимости  $N = f(\tau)$  не менее трех значений времени уплотнения бетонной смеси. Формуют три серии образцов-кубов размером  $100 \times 100 \times 100$  мм из бетонной смеси объемом 7 л для каждого замеса.

Значение коэффициента уплотнения определяют экспериментально с использованием по одному образцу-кубу из каждой серии.

Схема прибора – объёмомера, на котором проводят испытания, приведена на рис. 2.5 (см. лаб. раб. № 2).

Коэффициент уплотнения бетонной смеси рассчитывают по формуле

$$K_{\text{упл}} = \frac{V_{\text{см}} - V_{\text{в.в}}}{V_{\text{см}}}, \quad (10.3)$$

где  $V_{\text{см}}$  - объем испытываемой бетонной смеси в уплотненном состоянии, см<sup>3</sup>;

$V_{\text{в.в}}$  - объем вовлеченного воздуха в уплотненной бетонной смеси, см<sup>3</sup>, определяемый по методике, изложенной в ГОСТ 10181.

Остальные бетонные образцы твердеют в течение 28 сут в условиях нормального хранения, допустимо ускоренное твердение образцов в лабораторной пропарочной камере. После этого образцы бетона испытывают на прочность при сжатии на гидравлическом прессе.

Результаты испытаний заносят в табл. 10.2.

Таблица 10.2

### Результаты испытаний образцов бетона

Номер образца	Время виброуплотнения бетонной смеси, с	Коэффициент уплотнения	Размеры образцов, мм	Площадь поперечного сечения образца, м <sup>2</sup> (см <sup>2</sup> )	Разрушающая нагрузка, Н (кГс)	Предел прочности при сжатии, МПа (кГс/см <sup>2</sup> )

На основании полученных данных строят график зависимости прочности бетона при сжатии от коэффициента уплотнения.

### **10.6. Анализ результатов и выводы**

На основании экспериментальных данных делают вывод о зависимости прочности бетона при сжатии от степени уплотнения бетонной смеси и величины энергозатрат от значений вибровязкости бетонной смеси.

### **10.7. Контрольные вопросы**

1. В чем состоит сущность процесса уплотнения бетонной смеси?
2. Какие способы уплотнения применяются в технологии бетона?
3. Как влияет качество уплотнения на свойства бетона?
4. Какими параметрами характеризуется процесс виброуплотнения бетонной смеси?
5. Что такое вибровязкость бетонной смеси?
6. Что такое коэффициент уплотнения бетонной смеси?

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РЕЖИМА ТЕПЛОВЛАЖНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ НА ПРОЦЕСС ТВЕРДЕНИЯ ЦЕМЕНТНОГО БЕТОНА**

#### **11.1. Цель работы**

1. Изучение влияния времени предварительной выдержки перед тепловлажностной обработкой (ТВО) и длительности изотермической выдержки на прочность цементного бетона.

2. Изучение влияния температуры изотермической выдержки тепловлажностной обработки и скорости подъема температуры на кинетику прочности цементного бетона.

#### **11.2. Краткие теоретические сведения**

Твердение бетона при обычных температурах (15...20 °С) протекает в течение длительного времени, что нерационально, так как в этом случае на заводах ЖБИ уменьшается оборачиваемость форм, увеличивается объем складированных изделий, что сдерживает выпуск готовой продукции.

Одним из основных способов ускорения твердения бетона является тепловлажностная обработка [5]. Существуют различные разновидности тепловлажностной обработки. Применительно к твердению цементного бетона наиболее широко применяется пропаривание в камерах при повышенной температуре - обычно при 60 - 95 °С, относительной влажности 100 % и нормальном давлении. Температура насыщенного пара составляет 80...90 °С для бетона, изготовленного на обычном портландцементе, и 90...95 °С для бетона

на шлакопортландцементе. Насыщенный пар создает в пропарочной камере благоприятную тепловую и влажную среду.

Большое значение для качества бетона при тепловой обработке имеет правильное назначение режима ТВО с тем, чтобы прочность такого бетона в возрасте 28 сут не была бы ниже прочности бетона нормального твердения. Чтобы уменьшить отрицательное влияние температурного фактора на свойства бетона, применяют предварительное выдерживание бетона перед началом тепловой обработки. Предварительная выдержка обеспечивает набор бетоном некоторой прочности, что позволяет применять форсированные режимы, сокращать длительность тепловой обработки. Длительность предварительной выдержки зависит от реологических свойств бетонной смеси. Для бетонов из подвижных и литых смесей рекомендуется выдержка перед тепловой обработкой в течение 3...6 ч; для жестких бетонных смесей время предварительной выдержки сокращается или не проводится вовсе. Предварительная выдержка необходима, если изделия имеют большую открытую поверхность или изготавливаются без форм.

Скорость нагрева бетона зависит от его состава, вида изделия и других факторов. Она должна быть такой, чтобы уменьшить температурные градиенты и, соответственно, градиенты напряжений по сечению изделия и свести к минимуму деструктивные процессы в бетоне. Для тонкостенных изделий скорость подъема температуры не должна превышать 25 °С/ч, для более массивных изделий - 20 °С/ч. Применительно к жестким смесям с В/Ц-отношением менее 0,45 скорость подъема температуры принимается равной 30...35 °С/ч.

Для получения морозостойких бетонов желательно применять более мягкие режимы ускоренного твердения. Для этого увеличивают предварительную выдержку, подъем температуры проводят со скоростью 10...15 °С/ч, охлаждение бетона допускается со скоростью не более 10...15 °С/ч.

В зависимости от применения различных видов цемента, продолжительности и температуры пропаривания прочность бетона после прогрева достигает 50...100 % от 28 – суточной прочности бетона, твердеющего в нормальных условиях.

### **11.3. Оборудование, приборы, инструменты и сырьевые материалы**

Лабораторный смеситель принудительного действия; весы лабораторные общего назначения с пределом взвешивания до 10 кг (ГОСТ 24104-88); разновесы; мерные цилиндры емкостью 500, 1000 мл (ГОСТ 1770-74); емкости для взвешивания сырьевых материалов; совки, кельмы; секундомер; формы-кубы размером 100 × 100 × 100 мм (ГОСТ 22685-89\*); лабораторная виброплощадка с частотой колебаний 2900 ± 100 кол/мин и амплитудой колебаний 0,5 ± 0,05 мм; лабораторная пропарочная камера; пресс гидравлический. Сырьевые материалы: цемент (ГОСТ 10178-85, 31108-2016), песок при-

родный сухой (ГОСТ 8736-2014), щебень из плотных горных пород сухой (ГОСТ 8267-93\*\*), вода (ГОСТ 23732-2011).

#### 11.4. Рабочее задание

Исследовать влияние времени предварительной выдержки перед тепловлажностной обработкой и длительности изотермической выдержки, а также влияние температуры изотермической выдержки ТВО и скорости подъема температуры на прочностные показатели цементного бетона.

#### 11.5. Методика выполнения и результаты работы

Студенческая подгруппа разбивается на 3 звена. Каждое звено получает индивидуальное задание, в котором указываются длительности предварительной выдержки перед ТВО, изотермической выдержки в процессе ТВО, а также температура изотермической выдержки во время ТВО и скорость подъема температуры.

Все три звена работают с одним и тем же составом бетона, который задает преподаватель. Готовят общий замес бетонной смеси объемом 60 л. Приготовление бетонной смеси осуществляют порциями в лабораторном смесителе принудительного действия. Время перемешивания – 4 мин.

Из бетонной смеси каждое звено формует 4 серии образцов размером  $100 \times 100 \times 100$  мм по 3 образца в каждой серии. Уплотнение образцов осуществляют на лабораторной виброплощадке в течение 25 с – для подвижных смесей и 2Ж – для жестких смесей, где Ж – жесткость бетонной смеси (ГОСТ 10181). Согласно рабочему заданию отформованные образцы проходят тепловлажностную обработку по заданным режимам.

При изучении влияния времени предварительной выдержки бетона перед ТВО на его прочностные показатели его принимают равным 0, 2 и 24 ч с момента изготовления образцов. Режим тепловлажностной обработки в лабораторной пропарочной камере принимают следующий: длительность ТВО - 3 + 6 + 3 ч; температура изотермической выдержки  $80 \pm 2$  °С. При изучении влияния длительности изотермической выдержки на рост прочности бетона время выдержки принимают равным 2, 4 и 6 ч (без предварительной выдержки перед ТВО). Скорость подъема температуры в пропарочной камере составляет 20 °С/ч. Режим ТВО: 3 + 6 + 3 ч при температуре изотермической выдержки  $80 \pm 2$  °С. При изучении влияния температуры изотермической выдержки на изменение прочности бетона ее принимают равной 40, 60, 80 °С. Скорость подъема температуры в пропарочной камере составляет 20 °С/ч, длительность ТВО – 3 + 6 + 3 ч. При изучении влияния скорости подъема температуры на прочностные показатели бетона скорость назначают равной 10, 20, 30 °С/ч. Температура и время изотермической выдержки при ТВО поддерживают постоянными и равными  $80 \pm 2$  °С и 6 ч соответственно.

После твердения по вышеуказанным режимам образцы испытывают на прочность при сжатии. Испытания всех серий образцов проводят в возрасте

1 сут после пропаривания. Результаты испытаний образцов статистически обрабатывают, при этом определяют среднее значение прочности, оценку среднеквадратического отклонения и коэффициент изменчивости. Результаты испытаний образцов и их статистической обработки заносят в табл. 11.1.

Таблица 11.1

**Результаты испытаний образцов и их статистической обработки**

Серия испытаний	Исследуемый параметр ТВО; ед. измерения	Размеры образцов, м	Разрушающая нагрузка, Н	Предел прочности при сжатии, МПа	Среднее значение прочности при сжатии, МПа	Коэффициент изменчивости, %

По полученным результатам строят графические зависимости прочности бетона при сжатии от изученных факторов.

**11.6. Анализ результатов и выводы**

На основании полученных данных делают выводы о влиянии на прочностные показатели бетона времени предварительной выдержки, скорости подъема температуры, величины температуры изотермической выдержки и времени изотермической выдержки при ТВО.

**11.7. Контрольные вопросы**

1. Какие способы ускоренного твердения бетона вы знаете?
2. Какие факторы влияют на скорость твердения бетонов?
3. Какими параметрами характеризуется режим тепловлажностной обработки?
4. Как влияет на прочность бетона время предварительной и изотермической выдержек?
5. Как влияет скорость подъема температуры и скорость охлаждения при ТВО на прочность бетона?
6. Как зависит прочность бетона от температурного фактора?
7. Какие изменения в структуре бетона происходят при тепловлажностной обработке?

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 12**

**СТАТИСТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА**

**12.1. Цель работы**

1. Ознакомление с методикой статистического контроля прочности бетона.

2. Выполнение статистического контроля прочности бетона по результатам испытаний образцов.

### **12.2. Краткие теоретические сведения**

Даже при хорошо налаженном производстве прочность бетона одного и того же вида изделий колеблется в определенных пределах в зависимости от изменения активности цемента, нормальной плотности цементного теста, минерального состава клинкера, тонкости помола цемента, точности дозирования исходных материалов, однородности свойств заполнителей, температуры, влажности, условий твердения и т.д. Поэтому прочность бетона данного класса является величиной статистической.

В связи с этим на предприятиях сборного железобетона требуется осуществлять статистический контроль прочности бетона.

Класс бетона недостаточно полно оценивает его качество без одновременного учета средней прочности и его однородности, определяемой коэффициентом вариации прочности. Причем в зависимости от фактического значения коэффициента вариации средняя прочность бетона, соответствующая какому-либо классу, может меняться в широких пределах.

Чтобы обеспечить высокое качество бетонов, необходимо проводить постоянный контроль их производства и вносить в технологические процессы нужные изменения и коррективы, учитывающие колебания свойств исходных материалов и условий их технологии, чтобы гарантировать получение бетона с заданными свойствами при минимальных материальных, энергетических и трудовых затратах.

Контроль организуется на всех стадиях производства бетона и изделий из него. При ведении контроля применяется статистический подход, позволяющий дать оценку качеству получаемой продукции, состоянию технологии и эффективности производства. Контроль прочности бетона статистическим методом позволяет повысить качество и надежность конструкций, с одной стороны, и научно обоснованно подойти к вопросу требуемой прочности бетона – с другой. Статистическому контролю может быть подвергнута прочность бетона в любом возрасте, но, как правило, контролируется отпускная и марочная. При достаточно высокой степени однородности бетона по прочности появляется возможность снижения требуемой прочности, что позволяет сэкономить цемент, сократить время ТВО изделий.

### **12.3. Оборудование, приборы, инструменты и сырьевые материалы**

Формы-кубы размером  $100 \times 100 \times 100$  мм (ГОСТ 22685-89\*); лабораторный смеситель принудительного действия; лабораторная виброплощадка с частотой колебаний  $2900 \pm 100$  кол/мин и амплитудой колебаний  $0,5 \pm 0,05$  мм; весы лабораторные общего назначения (ГОСТ 24104-88) с разновесами; линейки измерительные металлические (ГОСТ 427-75\*); мерные цилиндры на 1000 мл (ГОСТ 1770-74); кельмы; гидравлический пресс. Сырье-

вые материалы: цемент (ГОСТ 10178-85, 31108-2016), песок природный сухой (ГОСТ 8736-2014), щебень из плотных горных пород сухой (ГОСТ 8267-93\*\*), вода (ГОСТ 23732-2011).

#### 12.4. Рабочее задание

Выполнить статистический контроль прочности бетона.

#### 12.5. Методика выполнения и результаты работы

Из студенческой подгруппы формируют 3 звена. Организация статистического контроля предусматривает введение двух периодов: анализируемого и контролируемого. Контроль качества изделий осуществляют на образцах-спутниках, изготовленных из бетонной смеси одного замеса с изделиями, вместе с которыми они формируются и твердеют. За анализируемый период (от 1 нед до 3 мес) число единичных значений в зависимости от принятой схемы контроля должно соответствовать п. 4.3 ГОСТ 18105.

Результаты испытаний серий контрольных образцов представляет преподаватель каждому студенческому звену. Выделяют партию изделий, в состав которой входят изделия одной номенклатуры, изготовленные из одного состава бетонной смеси на одной линии и по одной технологии.

В состав партии бетона сборных конструкций при контроле прочности по образцам включают бетон одной или нескольких партий конструкций.

Фактическую прочность бетона в партии ( $R_m$ ) вычисляют по формуле

$$R_m = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n}, \quad (12.1)$$

где  $R_i$  – единичное значение прочности бетона, МПа;

$n$  – общее число единичных значений прочности бетона в партии.

За единичное значение прочности бетона принимают:

- при контроле по образцам – среднюю прочность серии образцов, изготовленных из одной пробы смеси для контроля одного вида нормируемой прочности;

- при контроле неразрушающими методами – среднюю прочность бетона контролируемого участка или зоны конструкции или среднюю прочность бетона одной конструкции.

Затем для партии за анализируемый период времени вычисляют среднее квадратическое отклонение  $S_m$  по формуле

$$S_m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (R_i - R_m)^2}{n-1}}. \quad (12.2)$$

При контроле прочности бетона неразрушающими методами среднеквадратичное отклонение определяют иначе (ГОСТ 18105, п. 6.5).

Коэффициент вариации прочности бетона в партии  $V_m$  в процентах равен

$$V_m = \frac{S_m}{R_m} 100\% . \quad (12.3)$$

Затем определяют требуемую прочность бетона, которая необходима при нормировании прочности бетона по маркам. Под требуемой прочностью бетона понимается минимально допустимое среднее значение фактической прочности бетона в партии, соответствующее нормируемой прочности бетона при ее фактической однородности.

Требуемую прочность бетона каждого вида в сборных конструкциях рассчитывают по формуле

$$R_T = K_T \cdot B_{норм}, \quad (12.4)$$

где  $K_T$  – коэффициент требуемой прочности для всех видов бетонов и конструкций, принимаемый в соответствии с табл. 2 ГОСТ 18105 в зависимости от среднего коэффициента вариации прочности бетона;

$B_{норм}$  – проектный класс прочности бетона.

Партия бетона и сборных конструкций подлежит приемке по прочности бетона, если фактическая прочность бетона в партии

$$R_m \geq R_T \quad (12.5)$$

где  $R_m$  – фактическая средняя прочность бетона отдельной партии, МПа, а минимальное единичное значение прочности ( $R_i^{\min}$ ) – не менее величины ( $R_T - 4$ ) и не менее нормируемого класса бетона по прочности

$$B_{норм} \leq R_i^{\min} \geq (R_T - 4) .$$

Результаты статистического контроля прочности бетона представляют в виде табл. 12.1.

Таблица 12.1

### Результаты статистического контроля прочности бетона

Номер партии	$R_i$ , МПа	$R_m$ , МПа	$S_m$ , МПа	$V_m$ , %	$B_{норм}$ , МПа	$R_T$ , МПа
1	1					
	2					
	...					
	...					
	n					

### 12.6. Анализ результатов и выводы

При рассмотрении полученных результатов статистического контроля прочности бетона анализируется величина коэффициента вариации прочности бетона в партии ( $V_m$ ), сопоставляются значения требуемой прочности бетона ( $R_T$ ) с нормируемым классом бетона по прочности ( $B_{норм}$ ). На основании

этого делают выводы об однородности бетона по прочности: при низких значениях  $V_m$  и высоких значениях  $R_T$  (по сравнению с  $V_{норм}$ ) у бетона имеется запас прочности; это в дальнейшем позволит обеспечить экономию цемента в составе бетона.

### **12.7. Контрольные вопросы**

1. С какой целью необходим статистический контроль прочности бетона?
2. Что понимают под партией при контроле прочности бетона по образцам?
3. Что называется требуемой и нормируемой прочностью бетона?
4. С какой целью определяется требуемая прочность бетона в партии?
5. Как оценивается требуемая прочность бетона в зависимости от принятых схем контроля прочности бетона?

## **Раздел «НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ»**

### **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 13**

#### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ, ПРИЗМЕННОЙ ПРОЧНОСТИ И МОДУЛЯ УПРУГОСТИ ЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНОВ**

##### **13.1. Цель работы**

1. Изучение методики определения деформационных свойств, призмной прочности и модуля упругости цементных бетонов.
2. Определение деформационных свойств, призмной прочности и модуля упругости тяжелого цементного бетона.

##### **13.2. Краткие теоретические сведения**

Деформация – изменение объема или формы твердого или пластичного тела без изменения массы. Главнейшие виды деформаций – растяжение, сжатие, сдвиг, кручение и изгиб. Все они могут быть обратимыми и необратимыми или остаточными. Обратимые деформации полностью исчезают при прекращении действия на материал факторов, их вызвавших. Необратимые, пластические, накапливаются в период действия факторов, после их снятия деформации сохраняются. Обратимые деформации, исчезающие мгновенно и полностью, называются упругими, а если сохраняются в течение некоторого времени, то – эластическими. Деформации могут быть также сложными – упруго-пластическими или упруго-вязко-пластическими, если достаточно четко выражены, соответственно, упругая и пластическая или упругая, эластичная и пластическая части [9].

На характер и величину деформации влияет не только величина нагружения, но и скорость приложения нагрузки, а также температура материала. Как правило, с повышением скорости деформирования и понижением температуры материала деформации по своему характеру приближаются к упруго-пластическому виду, уменьшаясь по абсолютной величине. Пластические деформации, медленно нарастающие без увеличения напряжения, характеризуют текучесть материала. Пластическая деформация, медленно нарастающая в течение длительного времени под влиянием силовых факторов, не способных вызвать остаточную деформацию за обычные периоды наблюдений, называется деформацией ползучести, а процесс такого деформирования – ползучестью или крипом.

Деформационные свойства строительных материалов, как и других тел, обуславливаются периодом или временем релаксации. Релаксацией называется процесс самопроизвольного падения внутренних напряжений в материале, связанных с молекулярным перемещением при условии, что начальная величина деформации остается неизменной, например, зафиксированной жесткими связями. Характер начальной деформации в период релаксации напряжений может измениться, например, из упругой постепенно перейти в необратимую (пластическую), что связано с переориентацией внутримолекулярной структуры. Время, или период релаксации, определяют продолжительностью релаксационных процессов. Период релаксации – важная характеристика строительных материалов: чем он меньше, тем более деформативным является материал.

Под модулем упругости бетона понимается отношение нормального напряжения сжатия к относительной продольной деформации, замеренной при ступенчатом нагружении образца по определенным правилам, приведенным в нормативной документации. Следует отметить, что при расчетах и конструировании железобетонных конструкций в ряде случаев необходимо иметь данные о величине начального модуля упругости бетона. Экспериментальное определение модуля упругости бетона необходимо также в исследовательских целях для изучения его зависимости от состава бетона, вида заполнителей, условий изготовления, режимов твердения и т.д.

### **13.3. Оборудование, приборы, инструменты и сырьевые материалы**

Весы торговые с пределом взвешивания до 10 кг с гирями (ГОСТ 24104-88\*); емкости для взвешивания материалов; совки; шпатели; ложки; линейка металлическая (ГОСТ 427-75); штангенциркуль (ГОСТ 166-89); формы-кубы размером 100 × 100 × 100 мм (ГОСТ 22685-89\*); формы-призмы размером 100 × 100 × 400 мм (ГОСТ 22685-89\*); мерные цилиндры емкостью 500 мл (ГОСТ 1770-74); лабораторный смеситель принудительного действия; лабораторная виброплощадка; индикаторы часового типа (ГОСТ 577); прижимные рамки; пресс гидравлический. Сырьевые материалы: цемент (ГОСТ 31108-2016, 10178-85); песок природный сухой (ГОСТ 8736-2014; щебень из

плотных пород сухой фракции 5-20 мм (ГОСТ 8267-93\*\*); вода (ГОСТ 23732-2011).

### 13.4. Методика выполнения работы

Лабораторная работа выполняется подгруппой без деления на звенья.

Бетонные образцы-призмы изготавливают в количестве 3 штук в соответствии с ГОСТ 10180-2012. Одновременно с призмами из того же состава бетонной смеси формируют контрольные образцы-кубы в количестве 6 штук с размером ребра куба, равным ширине призмы, которые необходимы для оценки прочности бетона при сжатии и предварительной оценки призмочной прочности.

Для этого:

1) смазывают стенки и дно форм тонким слоем смазочного материала;  
2) оформляют этикетки для образцов с указанием следующих данных: вида материала образца; номера группы и подгруппы студентов;

3) производят замес исходных сырьевых материалов с водой в лабораторном смесителе принудительного действия, укладывают бетонную смесь в формы, уплотняют с помощью лабораторной виброплощадки (при необходимости), этикетировать образцы, накрывают формы стеклом (полиэтиленом, мокрой тканью) и оставляют твердеть в естественных условиях. Распалубливают формы с образцами через 14 суток твердения. После испытания образцов-кубов для определения средней плотности и прочности при сжатии бетона испытывают образцы-призмы для определения деформационных свойств, призмочной прочности и модуля упругости тяжелого цементного бетона.

Состав бетона представляют в табличной форме (пример - табл. 13.1).

Таблица 13.1

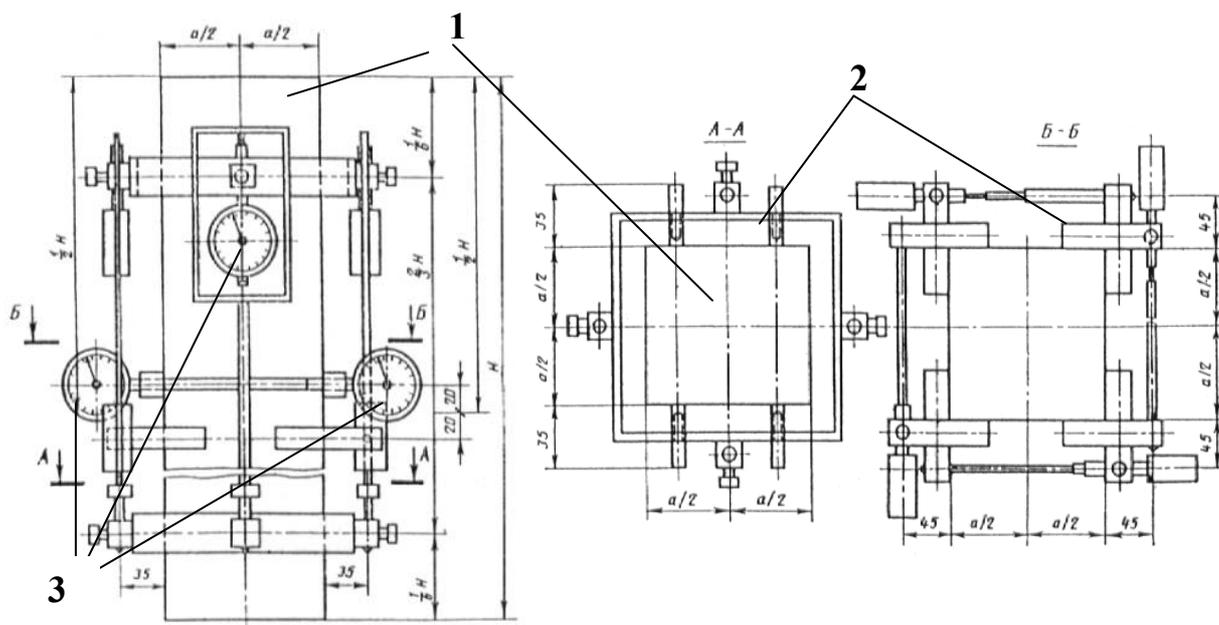
#### Состав тяжелого цементного бетона (В/Ц = 0,6)

Компонент	Количество компонента на 1 образец, г	
	призму (100×100×400 мм)	куб (100×100×100 мм)
Цемент	2000	500
Щебень	5600	1400
Песок	2800	700
Вода	1200	300

В целях экономии времени допускается использование заранее изготовленных бетонных образцов.

#### 13.4.1. Описание приборов и приспособлений

Деформации измеряют индикаторами часового типа с ценой деления шкалы 0,001- 0,002 мм. Измерение относительных деформаций должно обеспечиваться с точностью не ниже  $1 \times 10^{-5}$ . Индикаторы устанавливают на образце с помощью прижимных рамок в соответствии с фиксируемой базой измерения деформаций (рис. 13.1).



**Рис. 13.1. Схема установки прижимных рамок для крепления индикаторов при измерении продольных и поперечных деформаций образца:**  
 1 – образец-призма; 2 – прижимные рамки; 3 – индикаторы часового типа

### 13.4.2. Методика проведения испытаний

Прижимные рамки должны обеспечивать неизменное положение индикаторов относительно образца в процессе измерения деформации. Пресс должен удовлетворять требованиям ГОСТ 28840-90. При определении призмочной прочности шкалу силоизмерителя выбирают в соответствии с требованиями ГОСТ 10180-2012.

При определении прочности бетона образцы-кубы взвешивают, измеряют с помощью металлической линейки и подвергают испытанию на сжатие с помощью прессы. Результаты испытаний заносят в табл. 13.2.

Таблица 13.2

### Результаты испытаний образцов-кубов для определения средней плотности и прочности при сжатии бетона

Но мер об- раз- ца	Масса об- разца, кг	Размеры образца, м			Сред- няя плот- ность образ- ца, кг/м <sup>3</sup>	Сред- нее значе- ние средней плот- ности, кг/м <sup>3</sup>	Пло- щадь нагру- жаемой поверх- ности образ- ца, м <sup>2</sup>	Разру- шаю- щая на- грузка $R_{разр}$ , Н	Пре- дел проч- ности при сжа- тии, 0,95 $R_{сж}^*$ МПа	Среднее значение предела прочно- сти при сжатии, $\bar{R}_{сж}$ МПа
		длина	ширина	высота						

\*0,95 – масштабный коэффициент для приведения прочности бетона в образцах-кубах с размером ребра 100 × 100 × 100 мм к прочности бетона в образцах базового размера 150 × 150 × 150 мм

Ожидаемую призмную прочность ( $R_{приз}$ ) бетона рассчитывают путем умножения среднего значения предела прочности при сжатии ( $\bar{R}_{сж}$ ) бетонных образцов (табл. 13.2) на коэффициент, равный 0,75:

$$R_{приз} = 0,75 \cdot \bar{R}_{сж} . \quad (13.1)$$

Среднюю плотность бетона рассчитывают путем деления его массы на объем образца.

Перед испытанием образец-призму визуально осматривают, устраняют имеющиеся дефекты, отдельные выступы на гранях снимают наждачным камнем. Затем измеряют линейные размеры образца штангенциркулем или металлической линейкой с точностью до 1 мм и проверяют отклонение формы и размеров в соответствии с ГОСТ 10180-2012. Опорные грани образца должны быть ровными, в противном случае их следует выровнять слоем высокопрочного быстротвердеющего раствора, толщина слоя не более 2 мм.

Для установки прижимных рамок и индикаторов часового типа на боковых поверхностях образцов размечают центральные линии (рис. 13.1) и центрируют образец-призму по оси опорной плиты пресса. По центральным линиям размечают базы измерения продольных и поперечных деформаций образцов. База измерения продольных деформаций должна быть не более 2/3 высоты образца и располагаться на одинаковом расстоянии от его торцов.

Для крепления индикаторов используют приспособления в виде стальных рамок, закрепляемых на образце с помощью четырех упорных винтов – по два с противоположных сторон образца (рис.13.1). Индикаторы часового типа устанавливают по четырем граням призмы под углом 90°. В качестве соединительной вставки для измерения продольных деформаций применяют соединительные вставки, обеспечивающие возможность измерения деформаций до конца разрушения образца.

Перед испытанием образец с закрепленными на прижимных рамках индикаторами устанавливают центрально по разметке плиты пресса и проверяют совмещение начального отсчета с делением его шкалы. Начальное усилие обжатия образца, которое в последующем принимают за условный нуль, должно быть не более 2 % от ожидаемой разрушающей нагрузки. При этой нагрузке отмечают исходные положения стрелок индикаторов, что необходимо для последующих отсчетов.

Далее на образец подают нагрузку, равную  $0,1P_{разр}$  (табл. 13.1) и после этого вновь снижают ее до условного нуля. Если при этом стрелки индикаторов возвращаются в исходное положение, то индикаторы работают правильно. В противном случае необходимо проверить правильность их крепления. Значение ожидаемой разрушающей нагрузки следует принимать за 80 – 90 % от средней разрушающей нагрузки образцов-кубов.

Затем приступают к центрированию образца-призмы. При этом необходимо, чтобы в начале испытания от условного нуля до нагрузки, равной  $(40 \pm 5\%)$  от  $P_{разр}$  отклонения деформаций по каждой грани образца не превышали 15 % их среднего арифметического значения.

При несоблюдении этого требования при нагрузке следует разгрузить образец, сместить его относительно центральной оси разметки плиты прессы в сторону больших деформаций и вновь произвести его центрирование. Образец бракуют после пяти неудачных попыток его центрирования. После окончания центрирования образец испытывают с помощью прессы.

При определении призмной прочности и модуля упругости бетона нагружение образца до уровня нагрузки, равной  $(40 \pm 5\%) \cdot P_{разр}$ , производят ступенями, равными 10 % от ожидаемой разрушающей нагрузки  $P_{разр}$ , сохраняя в пределах каждой ступени скорость нагружения  $(0,6 \pm 0,2)$  МПа/с. На каждой ступени нагружения нагрузку выдерживают от 4 до 5 мин и отсчитывают показания индикаторов в начале и в конце выдержки ступени. Результаты отсчетов заносят в табл. 13.3.

При достижении уровня нагрузки, равной  $(40 \pm 5\%) \cdot P_{разр}$ , снимают приборы с образца, после чего дальнейшее нагружение до разрушения образца производят непрерывно с постоянной скоростью в соответствии с требованием ГОСТ 10180-2012.

Призмную прочность  $R_{пр}$  вычисляют для каждого образца по формуле

$$R_{пр} = \frac{P_{разр}}{F}, \quad (13.2)$$

где  $P_{разр}$  – разрушающая нагрузка по шкале силоизмерителя прессы, Н;  
 $F$  – среднее значение площади поперечного сечения образца, м<sup>2</sup>.

Модуль упругости  $E_{\sigma}$  для каждого образца при уровне нагрузки, составляющей 30 % от разрушающей, равен

$$E_{\sigma} = \frac{\sigma_1}{\varepsilon_{1y}}, \quad (13.3)$$

где  $\sigma_1 = P_1/F$  – приращение напряжения от условного нуля до уровня внешней нагрузки, равной 30 % от разрушающей;

$P_1$  – соответствующее приращение внешней нагрузки;

$\varepsilon_{1y}$  – приращение упругомгновенной относительной продольной деформации образца, соответствующее уровню нагрузки  $P_1 = 0,3 \cdot P_{разр}$  и измеренное в начале каждой ступени ее приложения.

В пределах ступени нагружения деформации определяют по линейной интерполяции.

Значения относительных деформаций определяют по формулам

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta l_1}{l_1}, \quad (13.4)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\Delta l_2}{l_2}, \quad (13.5)$$

где  $\Delta l_1, \Delta l_2$  – абсолютные приращения продольной и поперечной деформаций образца, вызванные соответствующим приращением напряжений;

$l_1, l_2$  – фиксированные базы измерения продольной и поперечной деформации образца.

Таблица 13.3

**Показания отсчетов по индикаторам  
при определении призмочной прочности и модуля упругости бетона**

Но- мер сту- пе- ни на- груз ки	Время при- ложе- ния ступе- ни на- груз- ки, мин	На- груз ка на об- ра- зец, Н	На- пря- же- ние, МПа	Показание приборов при измерениях продольных и поперечных деформаций								Среднее приращение						
				индикатор 1		индикатор 2		индикатор 3		индикатор 4		продоль- ных де- форма- ций, $\Delta l \times 10^{-3}$ мм	попе- речных дефор- маций, $\Delta l_2 \times 10^{-5}$ мм					
				отс- чет	при- раще- ние $\Delta l \times 10^{-5}$ мм	отс- чет	при- раще- ние $\Delta l \times 10^{-5}$ мм	отс- чет	при- раще- ние $\Delta l \times 10^{-5}$ мм	отс- чет	при- раще- ние $\Delta l \times 10^{-5}$ мм							
1																		
2																		
3																		
...																		
<i>n</i>																		

При определении средних значений призмной прочности и модуля упругости в серии образцов предварительно отбраковывают аномальные (сильно отклоняющиеся) результаты испытаний. Для этого в серии из трех образцов сравнивают наибольшее и наименьшее значения  $y_i$  призмной прочности и модуля упругости со средними их значениями в серии  $\bar{y}$ , определенными по формуле (13.6).

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i, \quad (13.6)$$

где  $\bar{y}$  - среднее значение указанных величин в серии образцов данного размера;

$y_i$  - значения указанных величин по отдельным образцам;

$n$  – число образцов в серии.

При вычислении среднего значения призмной прочности бетона следует учесть масштабный коэффициент, равный 0,95, так как базовым образцом является призма с размерами  $150 \times 150 \times 600$  мм.

### **13.5. Анализ результатов и выводы**

По полученным результатам делают выводы о деформативных свойствах бетона, о его призмной прочности и модуле упругости.

### **13.6. Контрольные вопросы:**

1. Что такое деформация строительного материала?
2. С помощью каких приборов определяется деформация бетона?
2. Что называется модулем упругости бетона?
3. Как рассчитывается модуль упругости бетона?
4. Что такое «относительные деформации материала»?
5. Как рассчитывается призмная прочность бетона?

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 14**

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕТОНА НЕРАЗРУШАЮЩИМ СКЛЕРОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ КОНТРОЛЯ**

#### **14.1. Цель работы**

1. Изучение методики определения прочностных показателей бетона неразрушающими методами с помощью молотка Кашкарова, склерометров.

2. Определение прочностных показателей различных видов бетона с помощью молотка Кашкарова.

#### **14.2. Краткие теоретические сведения**

Определение соответствия фактической прочности бетона ее проектной является основным при оценке состояния бетонной и железобетонной конструкций. Неразрушающие методы испытания бетона на сжатие основываются на косвенных характеристиках показаний приборов. Основные методы испы-

тания прочности бетона: упругого отскока, ударного импульса, отрыва, скалывания, пластической деформации, отрыва со скалыванием [7].

Испытание материалов методом царапания, известное как склерометрия, применяется в мировой практике более 300 лет и является одним из старейших способов оценки механических характеристик твёрдых тел. В начале XVIII века стали появляться первые склерометры. Склерометр - прибор для определения твёрдости материалов. В современном понимании, несмотря на то, что слово «склерометр» означает «измеритель твердости», склерометрами принято называть любые устройства, реализующие метод царапания, независимо от того, какие характеристики материала подлежат оценке: твердость, прочность, пластичность, износостойкость или иные механические параметры. Склерометры широко применяются при обследовании зданий и сооружений. В настоящее время существует достаточно большое количество склерометров различных марок. Склерометр ОМШ-1 (рис. 14.1) предназначен для оценки прочности бетона на сжатие методом упругого отскока в бетонных и ж/б конструкциях и изделиях. Принцип действия прибора основан на ударе с нормированной энергией бойка о поверхность бетона и измерении высоты его отскока в условных единицах шкалы прибора, являющейся косвенной характеристикой прочности бетона на сжатие.



**Рис. 14.1. Внешний вид склерометра ОМШ-1**

Электронный склерометр «ОНИКС-2-3» (рис. 14.2) основан на методике импульсной переходной функции сигнала датчика со статической обработкой и отбраковкой импульсов. Применяется для определения прочности, однородности, плотности, пластичности различных строительных материалов. Диапазон измерения - 5 ... 120; 0,5 ... 30 МПа. Погрешность

метода - 5 %.

Внешний вид электронного склерометра ИПС-МГ4 с выходом на компьютер представлен на рис. 14.3.



**Рис. 14.2. Внешний вид склерометра «ОНИКС-МГ-4»**



**Рис. 14.3. Внешний вид склерометра ИПС-МГ4**

Склерометр ИПС-МГ4 предназначен для неразрушающего контроля прочности бетона, железобетонных изделий и конструкций методом ударного импульса по ГОСТ 22690-88. Прибор позволяет также оценивать физико-механические свойства материалов в образцах и изделиях (прочность, твердость, упруго-пластические свойства), выявлять неоднородности, зоны пло-

хого уплотнения, наличия расслоений и др. Основан на измерении параметра акустического импульса, возникающего на выходе склерометра при соударении бойка о поверхность контролируемого материала.

Для определения прочности бетона методом упругого отскока также издавна используется прибор «молоток Кашкарова». Несмотря на свою простоту в конструкции, молоток Кашкарова до сих пор актуален и является одним из самых распространенных приборов, используемых на стройках и заводах ЖБИ.

К недостаткам прибора следует отнести низкую точность (15-20 %) и то обстоятельство, что с его помощью можно оценить прочность бетона только в поверхностном слое до 10 мм, в котором иногда бетон подвержен физико-химическим воздействиям, например, карбонизации. Не учитывается качество адгезии растворной части к зернам крупного заполнителя. Метод практически не чувствителен к изменению прочности крупного заполнителя и его зерновому составу. Точность измерения можно несколько повысить, если для каждого конкретного состава бетона строить тарировочные кривые.

### 14.3. Оборудование, приборы, инструменты и сырьевые материалы

Весы торговые с пределом взвешивания до 10 кг с гирями (ГОСТ 24104-88\*); емкости для взвешивания материала; совки; шпатели; ложки; линейка металлическая (ГОСТ 427-75); формы-кубы размером 150×150×150 мм (ГОСТ 22685-89\*); мерные цилиндры емкостью 100, 250 мл (ГОСТ 1770-74); лабораторный смеситель принудительного действия; лабораторная виброплощадка; молоток Кашкарова. Сырьевые материалы: цемент (ГОСТ 31108-2016, 10178-85); песок природный сухой (ГОСТ 8736-2014); щебень из плотных пород сухой фракции 5-20 мм (ГОСТ 8267-93\*\*); вода (ГОСТ 23732-2011).

### 14.4. Методика выполнения и результаты работы

Лабораторная подгруппа делится на 3 звена. Каждое звено производит

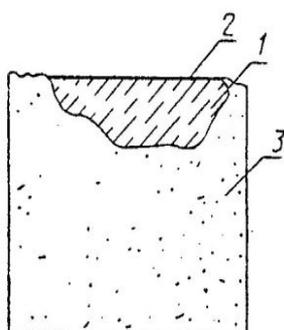


Рис. 14.4. Схема расположения пробы бетона в растворе:

- 1 – проба бетона;
- 2 – сторона пробы для испытания;
- 3 – раствор.

вmonoличивание одной пробы, отобранной из конструкции в раствор состава цемент : песок = 1 : 3 при В/Ц = 0,5, для чего:

1) смазывают стенки и дно формы тонким слоем смазочного материала;

2) оформляют этикетки для образцов с указанием следующих данных: вида материала образца; номера группы и подгруппы студентов;

3) производят замес исходных сырьевых материалов в лабораторном смесителе принудительного действия, укладывают растворную смесь в форму, вmonoличивают

бетонный образец в поверхность раствора, уплотняют на лабораторной виброплощадке, этикетировывают образцы, накрывают формы стеклом, полиэтиленовой пленкой или мокрой тканью и оставляют твердеть в естественных условиях. Распалубливают формы с образцами в монолитного бетона в раствор через 14 суток твердения. Схема расположения пробы после распалубки формы представлена на рис. 14.4.

Для метода упругого отскока минимальный объем пробы составляет  $1000 \text{ см}^3$ . В местах испытания поверхность бетона конструкции должна быть ровной без пор и раковин. При шероховатой поверхности бетона ее зачищают металлической щеткой. В целях экономии времени допускается использование заранее в монолитных в раствор образцов бетона, отобранных из конструкции.

Испытания проводят на участке конструкции площадью  $100 - 600 \text{ см}^2$ . Число и расположение контролируемых участков, а также число испытаний на одном участке конструкций должно соответствовать требованиям ГОСТ 18105-2010.

Для определения прочности бетона в конструкциях предварительно устанавливают градуировочную зависимость между прочностью бетона и косвенной характеристикой прочности (в виде графика, таблицы или формулы). Градуировочную зависимость для метода упругого отскока устанавливают на основе результатов испытаний образцов-кубов сначала неразрушающим методом, а затем по ГОСТ 10180-2012. Таблица градуировочной зависимости для метода упругого отскока представлена в прил. 2.

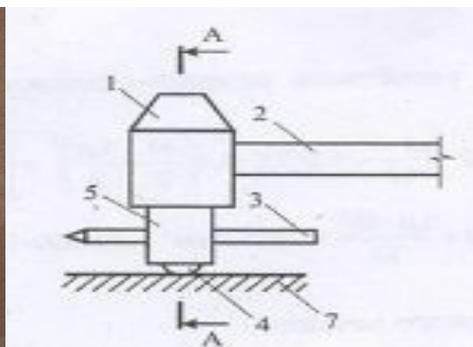
#### **14.4.1. Описание прибора «молоток Кашкарова»**

Молоток Кашкарова - инструмент, предназначенный для определения прочности железобетонных изделий, либо монолитного железобетона. Внешний вид прибора представлен на рис. 14.5.

Молоток Кашкарова состоит из корпуса 1 с ручкой 2, сменного металлического стержня 3 с известной прочностью (эталонный стержень), индентора (шарика) 4, стакана 5 с пружиной и головкой (рис. 14.6).



**Рис. 14.5. Внешний вид прибора**



**Рис. 14.6. Схема конструкции молотка Кашкарова**

Принцип действия молотка Кашкарова основан на свойствах пластической деформации, на существующей зависимости между прочностью бетона

и величиной косвенной характеристики бетона. Между молотком и завальцованным шариком отверстия введен контрольный стержень.

В процессе измерения молотком Кашкарова наносят серию ударов по бетонной поверхности строительной конструкции. Измерение и сравнение размеров отпечатков на контролируемой поверхности бетона и эталонном стержне позволяет определить прочность бетона.

Удар молотка Кашкарова приводит к образованию двух отпечатков. Одного - на поверхности обследуемой конструкции, второго - на эталонном стержне. Соотношение диаметров получаемых отпечатков зависит от прочности исследуемого материала и контрольного стержня и не зависит от скорости и силы удара молотка. Косвенной характеристикой бетона является соотношение диаметров отпечатков на поверхности бетона и на эталонном стержне. По суммарному соотношению диаметров отпечатков на поверхности бетона и на эталонном стержне с помощью тарировочного графика устанавливают прочность бетона.

#### ***14.4.2. Проведение испытаний с помощью молотка Кашкарова***

Каждое звено студентов производит испытание одной вмонтированной в раствор пробы бетона. Для испытания методом упругого отскока при ударе индентора растворную обойму с пробой зажимают в лабораторном прессе усилием  $(30 \pm 5)$  кН так, чтобы сторона обоймы с пробой была в вертикальном положении, и производят испытания. На подготовленную поверхность бетона через листы белой копировальной бумаги наносят серию ударов средней силы перпендикулярно под углом  $90^\circ$  к поверхности бетона. При этом удар допускается наносить как самим эталонным молотком Кашкарова, так и обычным молотком по головке эталонного молотка Кашкарова. Для точности измерения выполняют от 5 до 10 ударов. После каждого удара эталонный измерительный стержень передвигают в отверстие корпуса молотка не менее чем на 10 мм так, чтобы отпечатки располагались на одной линии. В результате удара получают одновременно две серии отпечатков: одну на поверхности бетона, другую на эталонном измерительном стержне.

Отпечатки на бумаге и эталонном стержне измеряют угловым масштабом или измерительной лупой с точностью до 0,1 мм. При этом отпечатки неправильной формы не учитывают. Для каждой серии вычисляют сумму диаметров всех полученных отпечатков, а затем - их отношение. За косвенную характеристику прочности бетона принимают среднюю величину отношения суммы отпечатков на бетоне к сумме отпечатков на эталонном стержне. Прочность бетона на сжатие на участке конструкции определяют по величине косвенной характеристики, пользуясь градуировочной зависимостью «отношение величин отпечатков на бетоне и эталоне - прочность» (прил.2).

Результаты испытаний образцов бетона, полученные всеми звеньями, заносят в табл. 14.1.

## Результаты испытаний и расчетов

Номер удара молотка	Диаметр отпечатка на бумаге $d_m$ , мм	Диаметр отпечатка на стержне $d_s$ , мм	$\sum d_m$ , мм	$\sum d_s$ , мм	Косвенная характеристика $\delta = \frac{\sum d_m}{\sum d_s}$	Прочность бетона на сжатие по градуировочной зависимости $\bar{R}_{сж}$ , МПа
1						
2						
3						
4						
5						
...						
15						

## 14.5. Анализ результатов и выводы

По результатам анализа полученных данных дают оценку прочностным показателям испытываемой конструкции.

## 14.6. Контрольные вопросы

1. Что такое склерометр? Какие виды склерометров Вы знаете?
2. Каков физический смысл метода склерометрии?
3. Какова конструкция молотка Кашкарова? Достоинства и недостатки использования молотка Кашкарова?
4. Что такое косвенная характеристика прочности?
5. Как рассчитывается прочность бетона по градуировочной зависимости?
6. Методика определения прочности с помощью молотка Кашкарова.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 15

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕТОНА  
НЕРАЗРУШАЮЩИМ УЛЬТРАЗВУКОВЫМ  
МЕТОДОМ КОНТРОЛЯ**

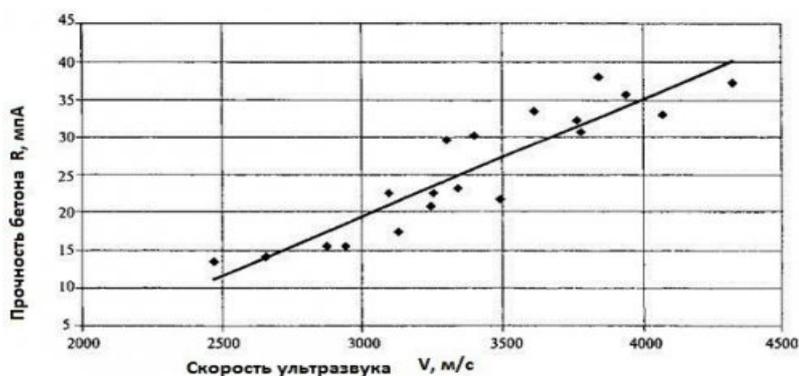
## 15.1. Цель работы

1. Изучение методики определения прочностных показателей различных видов бетона неразрушающим ультразвуковым методом.
2. Определение прочностных показателей различных видов бетона с помощью ультразвукового прибора УК-14П.

## 15.2. Краткие теоретические сведения

Ультразвуковой метод применяют для определения прочности бетона: отпускной, передаточной, в промежуточном и проектном возрастах, в про-

цессе твердения, а также при экспертном контроле. Прочность бетона определяют на участках конструкций, не имеющих видимых повреждений (отслоения защитного слоя, трещин, каверн и др.).

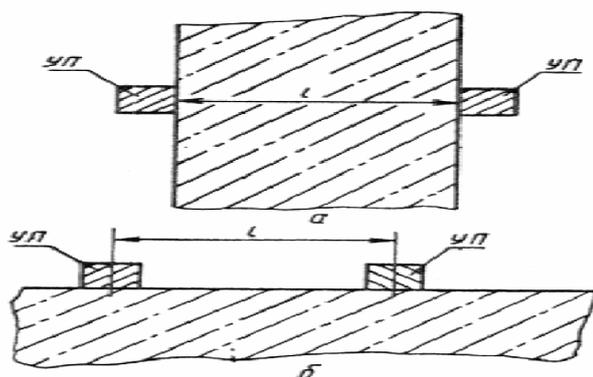


Метод основан на корреляционной связи между скоростью распространения ультразвуковых колебаний в теле материала и его прочностью (рис. 15.1).

**Рис. 15.1. Корреляционная зависимость прочности бетона от скорости прохождения через него ультразвука**

Ультразвуковые измерения в бетоне проводят способами

сквозного или поверхностного прозвучивания. При сквозном прозвучивании ультразвуковые преобразователи устанавливают с противоположных сторон образца, при поверхностном – на одной стороне образца (рис. 15.2). Число измерений времени распространения ультразвука в каждом образце должно быть: при сквозном прозвучивании - 3, при поверхностном - 4.



**Рис. 15.2. Схема испытания бетона:**  
 $a$  – способом сквозного прозвучивания;  
 $b$  – способом поверхностного прозвучивания;  
 УП – ультразвуковой преобразователь;  
 $L$  – база прозвучивания

На практике нередко случаи, когда возникает необходимость определения прочности бетона эксплуатируемых конструкций при отсутствии или невозможности построения градуировочной таблицы. В этом случае определение прочности бетона проводят в зонах конструкций, изготовленных из бетона на одном виде крупного заполнителя (ГОСТ 10180-2012).

Скорость распространения ультразвука  $V$  определяют не менее чем в 10 участках обследуемой зоны конструкций, по которым определяют среднее

значение  $V$ . Далее намечают участки, в которых скорость распространения ультразвука имеет максимальное  $V_{\max}$  и минимальное  $V_{\min}$  значения, а также участок, где скорость имеет величину  $V_n$  наиболее приближенную к значению  $V$ , а затем выбуривают из каждого намеченного участка не менее чем по два керны, по которым определяют значения прочности в этих участках:  $R_{\max}$ ,  $R_{\min}$ ,  $R_n$  соответственно. Прочность бетона определяют по формуле согласно ГОСТ 28570-90. Такие конструкции, как балки, ригели, колонны должны

прозвучиваться в поперечном направлении, плита - по наименьшему размеру (ширине или толщине), а ребристая плита - по толщине ребра. При тщательном проведении испытаний этот метод дает наиболее достоверные сведения о прочности бетона в существующих конструкциях. Недостатком его является большая трудоемкость работ по отбору и испытанию образцов.

Прочность бетона в конструкциях определяют экспериментально по установленным градуировочным зависимостям "скорость распространения ультразвука - прочность бетона  $V = f(R)$ " или "время распространения ультразвука  $t$  - прочность бетона  $t = f(R)$ ". Градуировочный график строится по данным прозвучивания и прочностных испытаний контрольных кубиков, приготовленных из бетона того же состава, по той же технологии, при том же режиме твердения, что и изделия или конструкции, подлежащие испытанию. При построении градуировочного графика следует руководствоваться указаниями ГОСТ 17624-87.

Метод ультразвукового исследования широко применяется при обследовании зданий и сооружений. В настоящее время существует достаточно большое количество ультразвуковых приборов различных марок.

Ультразвуковой прибор БЕТОН-22 (рис. 15.3,а) предназначен для определения прочности бетона в ЖБИ ультразвуковым методом при сквозном прозвучивании. Прибор укомплектован приспособлением для поверхностного прозвучивания.



**Рис.15.3. Внешний вид ультразвуковых приборов:**  
а - БЕТОН-22; б - ПУЛЬСАР-2.1; в - УК1401М

Прибор ПУЛЬСАР-2.1 (рис. 15.3,б) осуществляет контроль прочности и однородности бетона, кирпича и других материалов при сквозном и поверхностном прозвучивании в изделиях и конструкциях, на строительных объектах, при технологическом контроле, обследовании зданий, сооружений. Имеет функцию определения глубины трещин при поверхностном прозвучивании.

Ультразвуковой тестер УК1401М (рис. 15.3.в) предназначен для измерения времени и скорости распространения продольных ультразвуковых волн в твердых материалах при поверхностном прозвучивании на фиксированной базе с целью определения прочности и целостности материалов и конструкций. Прибор выполнен в моноблочном исполнении в эргономичном корпусе из легкого ударопрочного пластика, что делает его удобным для работы на объектах. В корпус тестера УК1401М встроены два преобразователя с сухим точечным контактом, что дает уникальную возможность вести контроль без применения контактной жидкости. Кроме того, данные преобразователи износостойкие и не чувствительны к состоянию поверхности, что позволяет избежать длительной и трудоемкой подготовки поверхности для проведения измерений.

В настоящее время выпускаются также ультразвуковые приборы, градуированные в единицах прочности бетона. Использование этих приборов допустимо для ориентировочной оценке прочности бетона.

В ряде случаев непосредственное использование результатов, полученных при испытании этими приборами, может давать существенную ошибку. Поэтому при контроле прочности бетона показания этих приборов следует рассматривать как косвенные характеристики прочности.

### **15.3. Оборудование, приборы, инструменты и сырьевые материалы**

Весы торговые с пределом взвешивания до 10 кг с гирями (ГОСТ 24104-89\*); емкости для взвешивания материала; совки; шпатели; ложки; линейка металлическая (ГОСТ 427-75); формы-кубы размером 100 × 100 × 100 мм (ГОСТ 22685-89\*); мерные цилиндры емкостью 500 мл (ГОСТ 1770-74); лабораторный смеситель принудительного действия; лабораторная виброплощадка; ультразвуковой прибор УК-14П. Сырьевые материалы: цемент (ГОСТ 31108-2016,10178-85); песок природный сухой (ГОСТ 8736-2014; щебень из плотных пород сухой фракции 5-10 мм (ГОСТ 8267-93\*\*); вода (ГОСТ 23732-2011).

### **15.4. Методика выполнения и результаты работы**

Лабораторная подгруппа делится на 3 звена. Вид бетона, с которым работает звено, определяет преподаватель. Каждое звено формирует серию из 6 образцов-кубов размером 100 × 100 × 100 мм в следующей последовательности:

- 1) смазывают стенки и дно форм тонким слоем смазочного материала;
- 2) оформляют этикетки для образцов с указанием следующих данных: вида материала образца; номера группы и подгруппы студентов;
- 3) производят замес исходных сырьевых материалов с водой в лабораторном смесителе принудительного действия, укладывают бетонную смесь в формы, уплотняют с помощью лабораторной виброплощадки, этикетировывают образцы, накрывают формы стеклом, полиэтиленовой пленкой или мокрой

тканью и оставляют твердеть в естественных условиях. Распалубливают формы с образцами через 14 суток твердения. Затем испытывают образцы с помощью ультразвукового прибора УК-14П.

Составы бетонов необходимо представить в табличной форме, пример которой приведен в виде табл. 15.1.

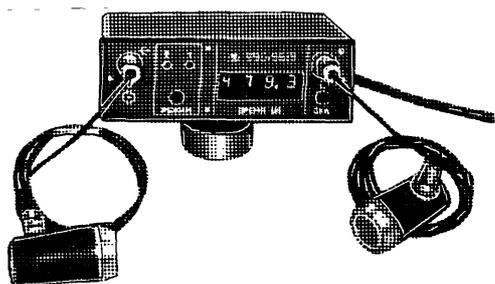
Таблица 15.1

**Составы бетонов**

Вид бетона	В/Ц-отношение	Компоненты	Количество компонента на 6 образцов, г
		1	
		2	
		...	
		n	

В целях экономии времени допускается использование заранее изготовленных бетонных образцов-кубов.

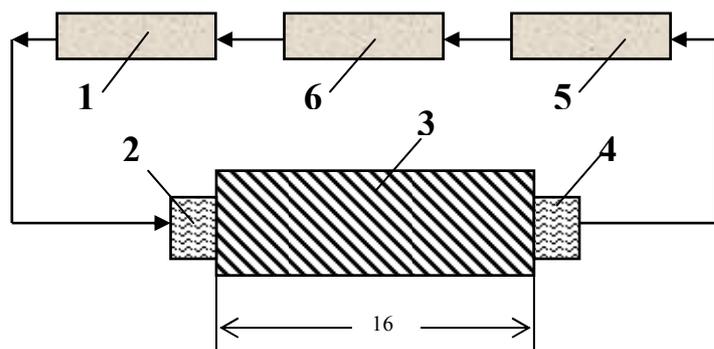
#### 15.4.1. Описание прибора УК-14П



**Рис. 15.4. Внешний вид ультразвукового прибора УК-14П**

Ультразвуковой прибор типа УК-14ПМ (рис. 15.4) предназначен: для определения прочности бетона в сборных и монолитных бетонных и железобетонных изделиях и конструкциях с механическим напряжением 10...50 МПа по ГОСТ 17624-87; для контроля твердения бетона в сборных и монолитных бетонных и железобетонных конструкциях в процессе тепловой обработки и твердения их в естественных условиях по ГОСТ 24467-80; для контроля качества огнеупорных бетонных изделий по ГОСТ 24830-81; для определения прочности при сжатии кирпича и камней силикатных по ГОСТ 24332-88; для определения скорости распространения упругих продольных волн в твердых горных породах по ГОСТ 211537-75.

Принципиальная схема действия прибора представлена на рис. 15.5.



**Рис. 15.5. Схема действия ультразвукового прибора:**

1 – генератор; 2 – пьезоэлемент, преобразующий электрические колебания в механические; 3 – образец материала; 4 – пьезоэлемент, преобразующий механические колебания в электрические; 5 – усилитель; 6 – регистрирующий прибор

Скорость распространения ультразвука ( $v$ ) определяют по формуле

$$v = \frac{l}{t} 1000, \text{ м/с}, \quad (15.1)$$

где  $l$  - база прозвучивания, мм;

$t$  - время прохождения ультразвука, мкс.

#### 15.4.2. Проведение измерений на приборе УК-14П

Противоположные перпендикулярные грани образца выравнивают (при необходимости). Определяют строго горизонтальную ось базы прозвучивания образца. Измеряют с помощью штангенциркуля длину базы прозвучивания с точностью до 0,1 мм.

Затем поверхности образца в точках начала и окончания базы прозвучивания смазывают вазелином для герметизации присоединения к ней щупов прибора. Строго перпендикулярно присоединяют к поверхностям образца щупы прибора (рис. 15.2.,а). Включают с помощью тумблера прибор и снимают показания времени распространения ультразвука на табло прибора. Измерения проводят трижды.

Скорость распространения ультразвука  $v$  рассчитывают по формуле (15.1). Прочность бетона определяют по градуировочной зависимости «скорость распространения ультразвука - прочность бетона  $V = f(R)$ ».

Результаты испытаний образцов, полученные всеми звеньями, заносят в табл. 15.2.

Таблица 15.2

#### Результаты испытаний образцов-кубов бетона

Вид бетона	Номер измерения	Время распространения ультразвука, мкс	Скорость распространения ультразвука, м/с	Прочность бетона, МПа
	1			
	2			
	3			
	Среднее значение			

#### 15.5. Анализ результатов и выводы

По результатам анализа полученных данных дают оценку прочностным свойствам различных видов бетона.

#### 15.6. Контрольные вопросы

1. Принцип действия ультразвукового прибора для определения прочности бетона?
2. Какие способы прозвучивания бетона Вы знаете?

3. Какие ультразвуковые приборы Вы знаете? Их краткая техническая характеристика, достоинства и недостатки.

4. Методика определения прочности с помощью прибора УК-14П.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 16

### ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ БЕТОНОВ

#### 16.1. Цель работы

1. Изучение методики определения теплопроводности бетона на приборе ИТС-1.

2. Определение теплопроводности образцов различных видов бетона с помощью прибора ИТС-1.

#### 16.2. Краткие теоретические сведения

Существуют три основных вида теплообмена: теплопроводность, конвекция и тепловое излучение.

Теплопроводность— это молекулярный перенос теплоты между непосредственно соприкасающимися телами или частицами одного тела с различной температурой, при котором происходит обмен энергией движения структурных частиц, таких как молекулы, атомы, свободные электроны. Другими словами теплопроводность - это способность материала передавать через свою толщину тепловой поток, возникающий вследствие разности температур на противоположных поверхностях изделия.

Конвекция осуществляется путем перемещения в пространстве неравномерно нагретых объемов среды. При этом перенос теплоты неразрывно связан с переносом самой среды.

Тепловое излучение характеризуется переносом энергии от одного тела к другому электромагнитными волнами.

Тепловой поток - количество теплоты, проходящее через материал в единицу времени.

Плотность теплового потока – тепловой поток, проходящий через единицу площади.

Термическое сопротивление образца – отношение разности температур лицевых граней образца к плотности теплового потока в условиях стационарного теплового режима.

Способность вещества проводить тепло характеризуется коэффициентом теплопроводности  $\lambda$ . Численно эта характеристика равна количеству теплоты, проходящей через образец материала толщиной в единицу длины 1 м, площадью в единицу площади 1 м<sup>2</sup>, за единицу времени 1 с при единичном температурном градиенте 1 К. В метрической системе мер единицей измерения коэффициента теплопроводности является Вт/(м · К).

$$\lambda = \frac{d}{R}, \quad (16.1)$$

где  $d$  – толщина испытываемого образца, м;

$R$  – термическое сопротивление образца,  $(\text{м}^2\text{К})/\text{Вт}$ .

Согласно закону теплопроводности Фурье в установившемся режиме плотность потока энергии, передающейся посредством теплопроводности, пропорциональна градиенту температуры:

$$\vec{q} = -\lambda \text{grad}(T), \quad (16.2)$$

где  $\vec{q}$  — вектор плотности теплового потока;

$\lambda$  - коэффициент теплопроводности;

$T$  — температура.

Минус в правой части показывает, что тепловой поток направлен противоположно вектору  $\text{grad } T$  (то есть в сторону скорейшего убывания температуры).

В интегральной форме это же выражение запишется так (если речь идёт о стационарном потоке тепла от одной грани параллелепипеда к другой):

$$P = -\frac{S \cdot \Delta T}{l}, \quad (16.3)$$

где  $P$  — полная мощность тепловых потерь;

$S$  — площадь сечения параллелепипеда,

$\Delta T$  — перепад температур противоположных граней;

$l$  — длина параллелепипеда, то есть расстояние между гранями.

Теплопроводность зависит от средней плотности материала, его структуры, пористости, влажности и средней температуры слоя материала. Чем выше пористость, то есть чем меньше средняя плотность материала, тем ниже теплопроводность. С увеличением влажности материала теплопроводность резко возрастает, при этом понижаются его теплоизоляционные свойства.

Различные материалы проводят теплоту по-разному: одни быстрее, другие медленнее. Металлы обладают самой высокой теплопроводностью, жидкости обладают меньшей теплопроводностью, чем твердые тела, а газы меньшей, чем жидкости. Коэффициент теплопроводности вакуума близок к нулю. Это связано с низкой концентрацией в вакууме материальных частиц, способных переносить тепло. У снега и льда тоже низкая теплопроводность. К теплоизоляционным относят материалы с теплопроводностью не более  $0,175 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$  при средней температуре слоя  $298 \text{ К}$  и влажностью, нормированной стандартами или техническими условиями. Значения коэффициента теплопроводности различных материалов приведены в Приложении.

В строительстве при возведении зданий необходимо учитывать показатели теплопроводности материалов. Выбор ограждающих конструкций следует производить в зависимости от физических свойств материала, конструктивного решения, температурно-влажностного режима воздуха в здании, климатологических данных района строительства, а также от норм сопротивления теплопередаче, воздухо-и паропроницанию. Для уменьшения колеба-

ний температуры воздуха в помещениях наружные ограждения должны обладать необходимой тепловой устойчивостью.

### 16.3. Оборудование, приборы, инструменты и сырьевые материалы

Весы торговые с пределом взвешивания до 10 кг с гирями (ГОСТ 24104-88\*); емкости для взвешивания материала; совки; шпатели; ложки; линейка металлическая (ГОСТ 427-75); формы-параллелепипеды размером 150 × 150 × 20 мм; мерные цилиндры емкостью 100, 250 мл (ГОСТ 1770-74); лабораторный смеситель принудительного действия; лабораторная виброплощадка; штангенциркуль (ГОСТ 166-89); прибор для определения теплопроводности ИТС-1. Сырьевые материалы: цемент (ГОСТ 31108-2016, 10178-85); песок природный сухой (ГОСТ 8736-2014; щебень из плотных пород сухой фракции 5-10 мм (ГОСТ 8267-93\*\*); вода (ГОСТ 23732-2011), гравий керамзитовый (ГОСТ 9757-90).

### 16.4. Методика выполнения и результаты работы

Лабораторная подгруппа делится на 3 звена. Каждое звено формирует серию из 6 образцов-параллелепипедов из заданного строительного материала по указанию преподавателя, для чего:

- 1) смазывают стенки и дно форм тонким слоем смазочного материала;
- 2) оформляют этикетки для образцов с указанием следующих данных: вида материала образца; номера группы и подгруппы студентов;

3) производят замес исходных сырьевых материалов в лабораторном смесителе принудительного действия, укладывают бетонную смесь в формы, уплотняют с помощью лабораторной виброплощадки, этикетируют образцы, накрывают формы стеклом, полиэтиленовой пленкой или мокрой тканью и оставляют твердеть в естественных условиях. Распалубливают формы с образцами через 14 суток твердения. Затем определяют теплопроводность материала с помощью прибора ИТС-1.

Составы строительных материалов (композитов) необходимо представить в табличной форме, пример которой приведен в виде табл. 16.1.

В целях экономии времени допускается использование заранее изготовленных образцов- параллелепипедов.

Таблица 16.1

**Составы композитов**

Вид бетона	В/Ц-отношение	Компоненты	Количество компонента на 6 образцов, г
		1	
		2	
		...	
		n	

### 16.4.1. Описание прибора ИТС-1



Рис. 16.1. Внешний вид прибора ИТС-1

Прибор ИТС-1 состоит из измерительной ячейки и электронного блока, расположенных в одном корпусе. На лицевой панели прибора находятся клавиатура и графический индикатор (рис. 16.1). На задней торцевой стенке помещены выключатель, разъем шнура сетевого питания с защитными предохранителями.

Клавиатура состоит из 9 клавиш.

Клавишей «**⏻**» производится включение и отключение процесса измерения. Клавиша «**М**» (измерение) - служит для перевода прибора из режима «меню» в режим измерений, а также для фиксации в памяти очередного результата. Клавиша «**F**» является функциональной и предназначена для: входа в главное меню из режима измерений; входа и выхода из пунктов главного меню и подменю. Клавишами «**←**», «**→**» управляется курсор (мигающий знак, цифра и т.п.) в режиме установки параметров работы и осуществляется просмотр памяти результатов по номерам (из режима измерений). Клавиши «**↑**», «**↓**» предназначены для выбора строки меню, установки значений параметров и ускоренного просмотра памяти по датам. Клавишей «**C**» выполняется сброс устанавливаемых параметров в начальное состояние и удаление результатов.

При включении прибора дисплей индицирует название прибора и текущие дату и время. Через несколько секунд прибор переходит в режим измерений, при этом на дисплее индицируется температура окружающей среды, разница температур между холодной и горячей пластинами и дата и время. Для запуска процесса измерений следует нажать **⏻**, а для перехода в режим меню – клавишу «**F**». Чтобы войти в любой из пунктов меню, нужно выбрать его клавишами «**↑**» или «**↓**» и нажать клавишу «**F**». Выход из любого пункта меню также осуществляется клавишей «**F**». Для перехода в режим измерений нажать клавишу «**М**».

### 16.4.2. Проведение измерений на приборе ИТС-1

Для проведения измерений следует: открутить винт, открыть измерительную ячейку прибора путем поворота стенки прибора влево, вставить в измерительную ячейку образец, защелкнуть фиксаторы на корпусе, после чего прижать образец с требуемым усилием фиксирующим винтом до появления 2-3 щелчков при повороте винта.

**Внимание!** Чтобы избежать лишних царапин на измерительных пластинах нагревателя и холодильника следует образец и нагреватель поднимать и опускать вертикально.

Следует учитывать, что температура окружающей среды в течение цикла измерений должна быть стабильной ( $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ). При этом условии и толщине образца 10-25 мм время первого замера в цикле составляет около 50 мин, следующих – около 25 мин.

На задней стенке прибора перевести выключатель в положение «1». Нажатием клавиши  включить режим измерения, на запрос о выполнении измерений ответить «Да» путем нажатия клавиши «F». Любое подтверждение команды выполняется нажатием данной клавиши.

При появлении окна ввода начальных параметров следует задать толщину образца  $d$  в мм при помощи стрелок управления, а также начального значения коэффициента теплопроводности  $\lambda$ , от которого прибор начнет отсчет. Ввод ориентировочного значения теплопроводности ускоряет процесс замера.

После подтверждения начальных параметров нажатием клавиши «F» автоматически включится режим измерения, по окончании которого прибор выдаст значение теплопроводности измеряемого образца и автоматически начнет новое измерение. Рекомендуется проводить 3 измерения на одном образце и рассчитывать их среднее значение. Первый замер наименее точный.

Прибор измеряет три показателя: коэффициент теплопроводности  $\lambda$  в  $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ; термическое сопротивление  $R$  в  $(\text{м}^2\cdot\text{К})/\text{Вт}$ ; поверхностную плотность теплового потока  $q$  в  $\text{Вт}/\text{м}^2$ . Снятия значений этих показателей осуществляется путем нажатия клавиши «M».

По окончании замера прибор фиксирует запись под порядковым номером архива и внесет в память.

После считывания показателей следует выключить прибор путем нажатия клавиши . При предложении прибора о прекращении замера следует перевести стрелку на ответ «Да» и подтвердить это нажатием клавиши «F».

Выключение прибора осуществляется переводом в положение «0» переключателя на его задней стенке и отключением от сети.

Результаты испытаний образцов, полученные всеми звеньями, заносят в табл. 16.2.

Таблица 16.2

### Результаты испытаний образцов- параллелепипедов

Вид бетона	Номер измерения	Коэффициент теплопроводности $\lambda$ , $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ ;	Термическое сопротивление $R$ , $(\text{м}^2\cdot\text{К})/\text{Вт}$	Плотность теплового потока $q$ , $\text{Вт}/\text{м}^2$
	1			
	...			
	n			
	Среднее значение			

## **16.5. Анализ результатов и выводы**

По результатам анализа полученных данных дают оценку теплопроводности различных видов строительных материалов.

## **16.6. Контрольные вопросы**

1. Каков физический смысл конвекции?
2. Каков физический смысл теплового излучения?
3. Каков физический смысл теплопроводности?
4. Что такое коэффициент теплопроводности материала?
5. От каких факторов зависит коэффициент теплопроводности?
6. Каково значение теплопроводности материалов в строительстве?
7. Что такое термическое сопротивление материала?

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 17**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ИСТИРАЕМОСТИ БЕТОНОВ**

#### **17.1. Цель работы**

1. Изучение методики определения истираемости бетона на установке «круг истирания».
2. Определение истираемости бетонных образцов с помощью круга истирания ЛКИ-3.

#### **17.2. Краткие теоретические сведения**

Под долговечностью понимают предельный срок службы зданий, сооружений, конструкций, материалов, в течение которого они при происходящих в них изменениях не утрачивают необходимых эксплуатационных качеств и в состоянии выполнять заданные им функции. Долговечность бетонов и изделий связана с их составом, структурой и состоянием, поэтому в качестве научной базы решения вопросов долговечности выступает структурное материаловедение, которое раскрывает закономерные связи свойств с составом, структурой и состоянием. Она определяется также интенсивностью действия эксплуатационной среды и таких её факторов, как механические нагрузки, температура, влажность, действие химических веществ, радиации, солнечного света, магнитного поля и т. д.

В результате изнашивания бетон или конструкция могут доходить до предельного состояния. Предельное состояние – это состояние, фиксируемое в тот момент, когда бетон или конструкция становятся неработоспособными. Для восстановления работоспособности требуется либо ремонт, либо частичная или полная замена, то есть полное их восстановление.

Под надежностью понимается вероятность того, что в течение заданного промежутка времени эксплуатации не наступит ни одно из недопусти-

мых предельных состояний для сооружения в целом, для отдельных его конструкций, элементов конструкций или узлов их сопряжений.

Основными процессами в бетоне при действии механических нагрузок являются формирование его напряженно-деформированного состояния, развитие ползучести, релаксации, накопление микро-и макроповреждений, в результате чего материал постепенно «устаёт» и становится неспособным проявлять свои первоначальные качества сопротивления внешним воздействиям всех видов.

Стойкость - это понятие, отражающее меру способности бетона сохранять свои качественные первоначальные характеристики при действии на него различных факторов, стремящихся изменить эти характеристики.

Стойкость при истирании – это сопротивляемость поверхности бетонов действию сдвигающих касательных напряжений, проявляющихся при перемещении различных тел по его поверхности. Абразивная стойкость – это сопротивляемость истираемости бетона в присутствии мелкодисперсного зернистого материала между трущимися поверхностями.

### 17.3. Оборудование, приборы, инструменты и сырьевые материалы

Весы торговые с пределом взвешивания до 10 кг с гирями (ГОСТ 24104-88\*); емкости для взвешивания материала; совки; шпатели; ложки; линейка металлическая (ГОСТ 427-75); формы-кубы размером 70 × 70 × 70 мм (ГОСТ 22685-89\*); мерные цилиндры емкостью 500, 250 мл (ГОСТ 1770-74); лабораторный смеситель принудительного действия; лабораторная виброплощадка; штангенциркуль (ГОСТ 166-90); круг истирания ЛКИ-3. Сырьевые материалы: цемент (ГОСТ 31108-2016, 10178-85); песок природный сухой (ГОСТ 8736-2014; щебень из плотных пород сухой фракции 5-10 мм (ГОСТ 8267-93\*\*); вода (ГОСТ 23732-2011), гравий керамзитовый (ГОСТ 9757-90).

### 17.4. Методика выполнения и результаты работы

Лабораторная подгруппа делится на 3 звена. Каждое звено формирует по шесть образцов размером 70 × 70 × 70 мм из бетонной смеси вида, указанного преподавателем. Составы бетонов заносит в табл. 17.1.

Таблица 17.1

Составы бетона

Вид бетона	В/Ц-отношение	Компоненты	Количество компонента на 6 образцов, г
		1	
		2	
		...	
		n	

Испытание образцов в 28-суточном возрасте проводят на приборе «Круг истирания ЛКИ-3» (рис.17.1). Образцы бетона взвешивают и определяют площадь истираемой поверхности. Образцы испытывают двумя сериями. Число образцов в серии должно быть не менее трех.

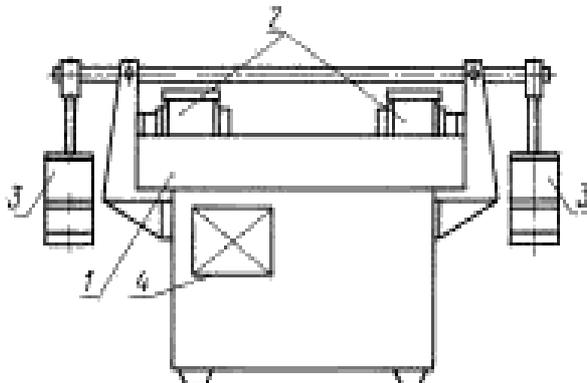


Рис. 17.1. Схема круга истирания ЛКИ-3:

- 1 – истирающий диск;
- 2 - испытываемые образцы;
- 3 – нагружающее устройство;
- 4 – пульт управления

Образцы первой серии испытывают на прочность при сжатии, второй – на истираемость. В качестве абразивного материала используют нормальный вольский песок по ГОСТ 6139-91 «Песок стандартный для испытания цемента».

Боковые грани образцов, перпендикулярные истираемой грани, перед испытанием нумеруют цифрами 1, 2, 3, 4. Во время проведения испытания в последовательности нумерации образец поворачивают вокруг вертикальной оси. К каждому образцу по центру прикладывают сосредоточенную нагрузку величиной  $(300 \pm 5)$  Н. На истирающий диск (1) прибора ЛКИ-3 равномерным слоем насыпают первую порцию  $(20 \pm 1)$  г вольского песка, расходующую на первые 30 м пути истирания. Устанавливают образцы в гнезда (2), центрально их нагружают (3), включают привод круга (4) и отсчитывают 28 оборотов, после чего истирающий диск останавливают. Затем с диска удаляют остатки песка и истертого бетона, насыпают новую порцию вольского песка и повторяют операцию. В целом эту операцию повторяют 5 раз, что составляет один цикл, равный 150 м пути истирания.

После завершения первого цикла образцы поворачивают вокруг вертикальной оси на  $90^\circ$  с грани 1 на грань 2 и проводят второй цикл и т.д. После проведения четырех циклов испытания образцы вынимают из гнезд круга истирания, обтирают сухой тканью и взвешивают.

Истираемость отдельного образца бетона  $G_i$  на круге истирания в  $\text{г/см}^2$ , характеризуемую потерей массы образца, определяют с погрешностью до  $0,1 \text{ г/см}^2$  по формуле

$$G_i = \frac{m_1 - m_2}{F}, \quad (17.1)$$

где  $m_1$  – масса образца до испытания, г;  
 $m_2$  – масса образца после испытания, г;  
 $F$  – площадь истираемой поверхности,  $\text{см}^2$ .

Истираемость бетона серии образцов  $G_c$  определяют с погрешностью до 0,1 г/см<sup>2</sup> как среднее арифметическое значение результатов определения истираемости отдельных образцов серии по формуле

$$G_c = \frac{\sum_{i=1}^n G_i}{n}, \quad (17.2)$$

где  $n$  – число испытанных образцов.

При вычислении средней величины истираемости серии образцов следует производить проверку выпадающих результатов по следующим правилам.

Результат испытания  $G_i$  признается выпадающим и исключается при вычислении средней истираемости серии образцов, если величина  $T_i$  превышает критическое значение  $T_{кр}$ , приведенное в табл. 17.2.

$$T_i = \frac{G_c - G_i}{S}, \quad (17.3)$$

где  $S$  - среднее квадратичное отклонение.

Таблица 17.2

#### Критическое значение $T_k$

Число образцов в серии	3	4	5	6
$T_k$	1,15	1,48	1,72	1,89

Среднее квадратичное отклонение  $S$  истираемости бетона в серии рассчитывается по формуле

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (G_c - G_i)^2}{n-1}}. \quad (17.4)$$

При исключении выпадающего результата необходимо пересчитать среднюю истираемость бетона серии образцов по оставшимся результатам.

Результаты испытаний и расчетов заносят в табл. 17.3

Таблица 17.3

#### Результаты определения показателей истираемости и прочности бетона

№ образца	Масса образца до испытания, $m_1$ , г	Размеры образца, $a \times b \times h$ , см	Площадь истираемой поверхности, $a \times b$ , см <sup>2</sup>	Масса образца после испытания, $m_2$ , г	Истираемость бетона, $G_c$ , г/см <sup>2</sup>	Предел прочности при сжатии, $R_{сж}$ , МПа
<b>Вид бетона</b>						
1						-
n						-
Среднее значение величины:					$G_c =$	$\bar{R}_i =$

Истираемость материалов допускается оценивать коэффициентом истирания  $k_{ист}$ , который определяют по формуле

$$k_{ист} = \frac{h}{PS}, \quad (17.5)$$

где  $h$  – высота удаленного истиранием слоя образца, см;  
 $P$  – прижимающее усилие, Н/см<sup>3</sup>;  
 $S$  – путь образца, км.

Высоту удаленного истиранием слоя образца  $h$  определяют по формуле

$$h = \frac{a}{VF}, \quad (17.6)$$

где  $a$  – износ образца ( $m_1 - m_2$ ), г;  
 $V$  – объемный вес, г/см<sup>3</sup>;  
 $F$  – площадь истираемой поверхности, см<sup>2</sup>

Для оценки истираемости строительных материалов обычно пользуются следующей классификацией, исходя из величины коэффициента истираемости.

Материалы сильной истираемости..... $k_{ист}$  свыше 1,5.

Материалы средней истираемости..... $k_{ист}$  0,5 - 1,5.

Материалы слабой истираемости..... $k_{ист}$  до 0,5.

### 17. 5. Анализ результатов и выводы

По полученным результатам дают оценку истираемости бетона; сопоставляют показатели истираемости материала с показателями его прочности.

### 17.6. Контрольные вопросы

1. Что такое долговечность строительных материалов и изделий?
2. Что такое надежность строительных материалов и изделий?
3. Что такое истираемость строительных материалов и изделий?
4. Что такое стойкость при истирании строительных материалов и изделий?
5. Для каких видов строительных материалов и изделий предъявляются требования по истираемости?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 18

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ СТОЙКОСТИ БЕТОНОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ АГРЕССИВНЫХ СРЕД

#### 18.1. Цель работы

1. Изучение методики определения относительной стойкости бетонов под воздействием агрессивных химических сред.
2. Определение относительной стойкости различных видов бетона под воздействием агрессивной химической среды по:

- по состоянию образцов при хранении их в агрессивной среде в течение 1,5 месяца;
- изменению массы и предела прочности при сжатии образцов.

## **18.2. Краткие теоретические сведения**

Стойкость бетона - это способность материала долго сохранять свои свойства: огнестойкость и жаростойкость, морозостойкость, стойкость бетона в химически агрессивной водной и газовой среде, сохранять свои эксплуатационные качества при работе в неблагоприятных условиях внешней среды без значительных повреждений и разрушений. Цементный камень менее стойкий, нежели каменные заполнители, при воздействии на бетон химически агрессивных агентов разрушается в первую очередь. Все причины коррозии бетона на портландцементе могут быть сведены в следующие основные группы:

1. Физическое растворение и вынос фильтрующей сквозь бетон мягкой, пресной водой гидроксида кальция и других растворимых соединений, входящих в состав цементного камня (выщелачивание). Коррозия этого вида связана с прогрессирующим уменьшением плотности бетона;

2. Взаимодействие компонентов цементного камня, прежде всего гидроксида кальция, со свободными кислотами, которые могут содержаться в воде. В результате образуются относительно легко растворимые соли этих кислот, легко вымываемые водой из бетона;

3. Взаимодействие содержащихся в минерализованных водах солей, в частности сульфатных или магниевых, с составными частями цементного камня, в результате чего могут происходить обменные реакции с образованием в цементном камне новых соединений, легче растворимых в воде, нежели исходные его компоненты, например образование под действием сульфатных солей вместо  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  легко растворимого гипса. Гипс же при кристаллизации увеличивается в объёме, что может привести к внутренним напряжениям и образованию трещин, усиливающих процессы коррозии бетона и арматуры.

Коэффициент коррозионной стойкости, характеризующий изменение прочностных и деформативных свойств материала за периоды 6 или 12 мес., находится в интервале значений 0,83–1,0.

## **18.3. Оборудование, приборы, инструменты и сырьевые материалы**

Весы торговые с пределом взвешивания до 10 кг с гирями (ГОСТ 24104-88\*); емкости для взвешивания материала; совки; шпатели; ложки; линейка металлическая (ГОСТ 427-75); формы-кубы размером 70 × 70 × 70 мм (ГОСТ 22685-89\*); мерные цилиндры емкостью 500, 250 мл (ГОСТ 1770-74); лабораторный смеситель принудительного действия; лабораторная виброплощадка; штангенциркуль (ГОСТ 166-89); термостат. Сырьевые материалы:

цемент (ГОСТ 31108-2016,10178-85); песок природный сухой (ГОСТ 8736-2014; щебень из плотных пород сухой фракции 5-10 мм (ГОСТ 8267-93\*\*); вода (ГОСТ 23732-2011).

#### 18.4. Методика выполнения и результаты работы

Лабораторная подгруппа делится на 3 звена. Каждое звено формирует по шесть образцов размером 70 × 70 × 70 мм из бетонной смеси вида, указанного преподавателем. Составы бетонов заносят в табл. 18.1.

Таблица 18.1

Составы бетона

Вид бетона	В/Ц-отношение	Компоненты	Количество компонента на 6 образцов, г
		1	
		2	
		...	
		n	

Половину промаркированных образцов каждого вида бетона помещают в агрессивную среду -10 %-ный раствор сернокислого натрия, а половину – в воду. Через 1 сутки по половине образцов каждого вида бетона, находящихся в обеих средах, обтирают влажной тканью и испытывают на прочность при сжатии с помощью гидравлического пресса.

Оставшуюся половину образцов также обтирают влажной тканью, взвешивают и вновь помещают в соответствующую среду. Через 28 суток хранения эти образцы после обтирания влажной тканью взвешивают и испытывают таким же образом, как и первую половину образцов.

Коэффициенты стойкости рассчитывают по формуле

$$K_{R_{сж}} = \frac{R_{сж(воз)} }{R_{сж(вод)}}, \quad (18.1)$$

где  $R_{сж(воз)}$  и  $R_{сж(вод)}$  - соответственно средние значения предела прочности при сжатии

бетона, хранящегося в агрессивной среде;

$R_{сж(воз)}$  и  $R_{сж(вод)}$  - соответственно средние значения предела прочности при сжатии бетона, хранящегося в воде.

Результаты испытаний и расчетов заносят в табл. 18.2, 18.3.

#### 18.5. Анализ результатов и выводы

По полученным результатам делают вывод об относительной стойкости бетона под воздействием агрессивных сред.

Таблица 18.2

### Результаты испытаний образцов

№ образца	Вид бетона								Изменение показателей через 28 суток	
	из воды				из раствора Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>					
	через 1 сутки		через 28 суток		через 1 сутки		через 28 суток		изменение массы, Δm, г	ΔR, при сжатии, МПа
масса, m, г	R при сжатии, МПа	масса, m, г	R, при сжатии, МПа	масса, m, г	R, при сжатии, МПа	масса, m, г	R, при сжатии, МПа			

Таблица 18.3

### Относительная стойкость материалов

Вид материала	Относительная стойкость по:	
	изменению массы, %	коэффициенту стойкости $K_{R_{сж}}$

### 18.6. Контрольные вопросы

1. Виды коррозии строительных материалов.
2. По каким критериям оценивается стойкость строительных материалов в агрессивных средах?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 19

### ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОСТОЙКОСТИ БЕТОНОВ

#### 19.1. Цель работы

1. Изучение методики определения термостойкости бетона по:
  - изменению массы образцов;
  - изменению прочности при сжатии.
2. Определение коэффициента термической стойкости бетона.

#### 19.2. Краткие теоретические сведения

Термостойкость – это способность материала сопротивляться действию весьма высоких температур (свыше 200 °С), способность бетона противостоять

ять, не разрушаясь, термическим напряжениям, обусловленным изменением температуры при нагреве или охлаждении (ГОСТ 20910-90). Возникновение термических напряжений создаёт условия, как для химического разрушения компонентов, так и для разрыва внутренних связей.

Термостойкость зависит от коэффициента термического расширения и теплопроводности бетона, его упругих и др. свойств, а также от формы и размеров изделия. На практике термостойкость оценивают обычно числом теплосмен-циклов нагрева и охлаждения, выдерживаемых изделием до появления трещин, частичного или полного разрушения, либо температурным градиентом, при котором возникают трещины.

### 19.3. Оборудование, приборы, инструменты и сырьевые материалы

Весы лабораторные с пределом взвешивания до 3 кг (ГОСТ 24104-88\*); емкости для взвешивания материала; совки; шпатели; ложки; линейка металлическая (ГОСТ 427-75); формы-кубы размером 50 × 50 × 50 мм (ГОСТ 22685-89\*); мерные цилиндры емкостью 500 мл (ГОСТ 1770-74); лабораторный смеситель принудительного действия; лабораторная виброплощадка; штангенциркуль (ГОСТ 166-89); муфельная печь (ТУ 16. 681.139), сушильный шкаф (ТУ 16.681.032); ванна вместимостью 10 л. Сырьевые материалы: цемент (ГОСТ 31108-2016,10178-85); песок природный сухой (ГОСТ 8736-2014); щебень из плотных пород сухой фракции 5-10 мм (ГОСТ 8267-93\*\*); вода (ГОСТ 23732-2011).

### 19.4. Методика определения термостойкости

Лабораторная подгруппа делится на 3 звена. Каждое звено формирует по шесть образцов размером 50 × 50 × 50 мм из бетонной смеси вида, указанного преподавателем. Составы бетонов заносят в табл. 19.1.

Все подготовленные для испытания образцы взвешивают, маркируют и помещают в сушильный шкаф. Образцы высушивают до постоянной массы, при температуре 105 °С.

После высушивания все образцы измеряют и взвешивают.

Таблица 19.1

#### Составы бетона

Вид бетона	В/Ц-отношение	Компоненты	Количество компонента на 6 образцов, г
		1	
		2	
		...	
		n	

Затем половину образцов каждого вида оставляют для твердения в эксикаторе. Вторую половину образцов подвергают визуальному осмотру и взвешивают. Образцы, на которых обнаруживают трещины, бракуют.

Термостойкость ( $T$ ) определяют в водных теплосменах в следующем порядке:

- для бетонов средней плотности  $1500 \text{ кг/м}^3$  и более:

образцы помещают в печь, предварительно разогретую до температуры  $500^\circ\text{C}$ , и выдерживают при этой температуре 40 мин. Колебания температуры в печи допускаются в пределах  $\pm 20^\circ\text{C}$ . Время отсчитывают с момента, когда в печи установится необходимая температура. По истечении 40 мин образцы вынимают из печи и погружают в ванну вместимостью 10 л с водой комнатной температуры. Образцы охлаждают в воде в течение 5 мин, после чего вынимают из воды и выдерживают при температуре  $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$  в течение 10 мин. Затем нагревание повторяют. После каждой теплосмены воду в ванне необходимо менять.

- для бетонов средней плотности менее  $1500 \text{ кг/м}^3$  и ячеистой структуры:

образцы помещают в печь, предварительно разогретую до температуры  $500^\circ\text{C}$ , и выдерживают при этой температуре 1 ч. Колебания температуры в печи допускаются в пределах  $\pm 20^\circ\text{C}$ . Затем образцы вынимают из печи и охлаждают струей воздуха комнатной температуры из вентилятора в течение 20 мин. Затем нагревание повторяют.

Каждый нагрев и охлаждение в воде или на воздухе являются теплосменой. После каждой теплосмены остывшие образцы осматривают, отмечают появление трещин, характер разрушения (выкрошивание или окол материала) и взвешивают.

Число теплосмен, вызвавших разрушение образцов или потерю бетоном 20 % первоначальной массы, принимают за термическую стойкость бетона в водных или воздушных теплосменах.

Все образцы осматривают и определяют прочность на сжатие. Если после нагрева или выдержки в воде в образцах появились трещины, дутики или околы, то бетон бракуют.

Коэффициент термической стойкости рассчитывают по формуле

$$T = \frac{\bar{R}_{\text{сж}}^{\text{T}}}{\bar{R}_{\text{сж}}^{\text{C}}} \cdot 100\%, \quad (19.1)$$

где  $\bar{R}_{\text{сж}}^{\text{T}}$  - среднее значение предела прочности при сжатии бетона после термического воздействия, МПа;

$\bar{R}_{\text{сж}}^{\text{C}}$  - среднее значение предела прочности при сжатии бетона в высушенном состоянии, МПа.

Результаты испытаний и расчетов заносят в табл. 19.2.

## 19.5. Анализ результатов и выводы

По полученному значению коэффициента термической стойкости делают вывод о сравнительной термостойкости материалов.

Таблица 19.2

### Результаты испытаний и расчетов

Вид обработки бетона	Номер образца	Геометрические размеры, $a \times b \times c$ , м	Масса до обработки, г	Масса после обработки, г	Изменение массы, $\Delta m$ , г	Разрушающая нагрузка при сжатии, Н	Предел прочности при сжатии, $R_{сж}$ , МПа	Среднее значение предела прочности при сжатии $\bar{R}_{сж}$ , МПа	Коэффициент термостойкости, $K_T$
<b>Вид бетона</b>									
Высушивание	1								
	...								
	n								
ТО	1								
	...								
	n								

## 19.6. Контрольные вопросы

1. Что такое термостойкость строительных материалов?
2. По каким критериям оценивается термостойкость строительных материалов?
3. Какие фазовые изменения происходят в структуре портландцементного и гипсового камня при термических воздействиях на них?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 20

### ИСПЫТАНИЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АРМАТУРНОЙ СТАЛИ

#### 20.1. Цель работы

1. Изучение методики определения механических свойств арматурной стали: полного относительного удлинения при максимальной нагрузке; относительного удлинения после разрыва; относительного равномерного удлинения после разрыва; равномерного усиления после разрыва; относительного сужения после разрыва; временного сопротивления; предела текучести; пределов текучести и упругости; модуля упругости.

2. Определить основные характеристики арматурной стали:
  - временное сопротивление;

- предел текучести (физический и условный);
- относительное удлинение и относительное равномерное удлинение после разрыва.

## 20.2. Краткие теоретические сведения

Строительные стали в зависимости от назначения квалифицируются как стали для строительных конструкций - конструкционные и арматурные.

Промышленность выпускает обширную номенклатуру стальных изделий, применяемых в строительстве: прокатная сталь различных профилей - угловая, швеллеры, двутавры и др., прокатная сталь квадратного сечения, прокатная листовая сталь, стальная арматура для железобетона и другие изделия.

В качестве арматуры в железобетоне в основном применяют сталь, а также волокна из пластмасс, стекла, базальта и т.п.

Арматурные стали различаются:

- в зависимости от особенностей технологического процесса их изготовления: горячекатаная стержневая; холоднотянутая проволочная; термически упрочненная;

- по виду поверхности: гладкая или периодического профиля;

- согласно условиям применения: ненапрягаемая и напрягаемая.

Арматурная сталь в зависимости от основных механических характеристик подразделяют на классы, обозначаемые буквенными индексами А, А<sub>т</sub>, А<sub>тп</sub>, В, В<sub>р</sub>.

Горячекатанная арматурная сталь, не подвергающаяся после проката упрочняющей обработке, делится на классы, обозначаемые индексом А с последующими римскими цифрами и с обозначением в скобках величины физического или условного предела текучести в кГ·с/мм<sup>2</sup>, например, А-I(А 240), А-II(А 300) и т.д. При обозначении термически упрочненной после проката арматурной стали принят индекс А<sub>т</sub> с соответствующей градацией, например, А<sub>т</sub>-IV(А<sub>т</sub> 600) др. Стали, обладающие повышенной коррозионной стойкостью, обозначаются индексами А<sub>тп</sub>.

Класс арматурной стали можно определять по профилю стержней или проволоки, а также по окраске их концов. Так, арматурная сталь класса А-I(А 240) имеет гладкий профиль, класса А-II(А 300) - периодический профиль с поперечными выступами, идущими по винтовой линии, классов А-III(А 400) и А-IV(А 600) – периодический профиль с выступами в виде «елочки».

Концы арматурных стержней из стали класса А<sub>т</sub>-IV(А<sub>т</sub>600) окрашивают в белый цвет, из стали класса А<sub>т</sub>-V(А<sub>т</sub>800) – в синий, из стали класса А<sub>т</sub>-VI(А<sub>т</sub>1200) – в зеленый цвет.

Стержневая арматурная сталь имеет гарантируемые механические свойства, которые определяются по известной методике в ходе стандартных испытаний.

Проволочная арматура подразделяется на две основные группы: арматурная проволока и арматурные проволочные изделия.

Холоднокатанную арматурную проволоку различают по классам В-I, В<sub>p</sub>-I, В-II, В<sub>p</sub>-II (буква «р» обозначает арматуру периодического профиля). Обыкновенная арматурная проволока (низкоуглеродистая) классов В-I и В<sub>p</sub>-I предназначена для применения в качестве ненапрягаемой арматуры. Проволока классов В-II и В<sub>p</sub>-II, изготавливаемая из углеродистой конструкционной стали, используется как напрягаемая арматура и обычно называется высокопрочной арматурной проволокой. К арматурным проволочным изделиям относятся нескручивающиеся одно- и многорядные канаты, предназначенные для напрягаемой арматуры, а также сварные сетки для ненапрягаемой арматуры.

### **20.3. Оборудование, приборы, инструменты и сырьевые материалы**

Универсальная испытательная машина; керны для нанесения меток на стержни арматурной стали; термометры; весы лабораторные общего назначения с пределом взвешивания до 10 кг (ГОСТ 24104-88\*), штангенциркуль (ГОСТ 166-89); металлическая линейка (ГОСТ 427-75). Сырьевые материалы: образцы арматурной стали с рабочей длиной: при номинальном диаметре до 20 мм включительно – не менее 200 мм, свыше 20 мм – не менее 10 диаметров. Рабочая длина  $l_1$  представляет собой часть длины образца арматуры между испытательной машиной и зажимными устройствами.

### **20.4. Рабочее задание**

Определить основные характеристики арматурной стали: временное сопротивление; предел текучести (физический и условный); относительное удлинение и относительное равномерное удлинение после разрыва.

### **20.5. Методика выполнения и результаты работы**

Испытание образцов арматурной стали осуществляют всей подгруппой студентов без разделения на звенья.

Полную длину образца арматуры выбирают в зависимости от рабочей длины образца и конструкции захватов испытательной машины.

Для испытания применяют образцы арматуры круглой или периодического профиля с необработанной поверхностью номинальным диаметром от 3 до 80 мм. Допускается проводить испытание образцов горячекатаной стержневой арматуры номинальным диаметром более 20 мм на обточенных образцах цилиндрической формы с головками по возможности с сохранением на них поверхности проката.

Определение относительного удлинения после разрыва, относительного равномерного удлинения, предела текучести стали и временного сопротивления разрыву выполняют на одном и том же образце арматуры. Указан-

ные характеристики для партии стали определяют как среднеарифметическую величину результатов испытаний не менее чем 6 образцов арматуры.

Перед испытанием образец надежно центрируют в испытательной машине.

Для обточенных и круглых образцов арматуры номинальным диаметром от 3 до 40 мм определяют площадь поперечного сечения путем измерения диаметра по длине образца в трех сечениях: в середине и по концам рабочей длины; в каждом сечении в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Площадь поперечного сечения образца вычисляют как среднюю арифметическую величину шести измерений. Результаты измерений заносят в табл. 20.1.

Таблица 20.1

### Геометрические размеры образца

Номер образца	Значение диаметра образца в двух взаимно перпендикулярных направлениях, мм						Площадь поперечного сечения образца, $F_0$ , мм <sup>2</sup>
	$d_1$		$d_2$		$d_3$		
	$d_{11}$	$d_{12}$	$d_{21}$	$d_{22}$	$d_{31}$	$d_{32}$	$d_{cp} = \sum d_0 / 6$

Начальная площадь поперечного сечения необработанных образцов арматуры периодического профиля  $F_0$ , мм<sup>2</sup>, вычисляют по формуле

$$F_0 = m / \rho \cdot l, \quad (20.1)$$

где  $m$  - масса испытываемого образца, кг;

$l$  - длина образца, м;

$\rho$  - плотность стали ( $\rho = 7850$  кг/м<sup>3</sup>).

Диаметры круглых и обточенных образцов арматуры номинальным диаметром от 3 до 40 мм измеряют штангенциркулем.

Массу испытываемых образцов определяют путем взвешивания на весах с погрешностью не более 1 г, если образцы весят более 20 г при диаметре от 10 до 20 мм, и с погрешностью не более 1 % от массы образца при его диаметре более 20 мм.

Полную длину испытываемого образца измеряют металлической линейкой с погрешностью не более 0,5 мм. Начальную расчетную длину  $l_0$ , на базе которой проводят измерение удлинений, измеряют также с погрешностью не более 0,5 мм.

Перед испытанием образец размечают керном на  $n$  равных частей по длине, больше рабочей длины образца ( $l_1$ ). Расстояние между метками для арматуры диаметром 10 мм и более не должно превышать величину диаметра ( $d$ ) и должно быть кратным 10 мм.

При проведении испытаний образцов обеспечивают плавность нагружения. Средняя скорость нагружения до предела текучести не должна быть более 10 МПа в секунду. За пределом текучести скорость нагружения может

быть увеличена так, чтобы скорость перемещения подвижного захвата машины не превышала 0,1 рабочей длины испытываемого образца в минуту.

После испытания образца его части складываются вместе при условии расположения их по прямой линии (рис. 20.1).

Затем от места разрыва в одну сторону откладывают  $n/2$  интервалов и ставят метку «а». Если величина  $n/2$  оказывается дробной, ее округляют до целого числа в большую сторону. Участок от места разрыва до первой метки

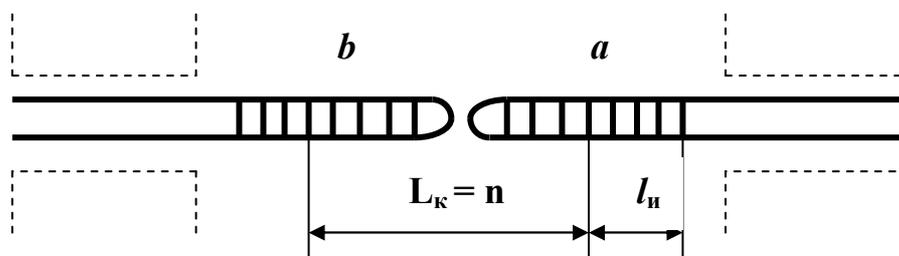


Рис. 20.1. Схема разрыва образца

считают как целый интервал. Затем от отметки «а» откладывают в сторону разрыва  $n$  интервалов и ставят метку «b». Отрезок  $ab$  равен полученной по месту разрыва конечной расчетной длине  $l_k$ . В случае, если место разрыва ближе к краю захвата испытательной машины, чем величина  $n/2$ , полученную после разрыва  $l_k$  определяют следующим образом: от места разрыва до крайней метки «q» у захвата отсчитывают число интервалов, которое обозначают  $m/2$ , от метки «q» к месту разрыва откладывают  $m$  интервалов и ставят метку «с». Затем от метки «с». Откладывают  $(n/2 - m/2)$  интервалов и ставят метку «е».

Конечную расчетную длину образца  $l_k$  в мм вычисляют по формуле

$$l_k = cq + 2ce, \quad (20.2)$$

где  $cq$ ,  $ce$  – соответственно длины участков образца арматуры между метками «с» и «q», «с» и «е».

Если место разрыва находится на расстоянии от захвата меньшем, чем длина двух интервалов или  $0,3l_0$  (для образцов диаметром менее 10 мм), величина конечной расчетной длины не может быть определена достоверно, то в этом случае проводится повторное испытание.

Величину относительного удлинения  $\delta$ , %, вычисляют по формуле

$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} \cdot 100. \quad (20.3)$$

В зависимости от величины начальной расчетной длины образца к букве « $\delta$ » добавляют индекс, например, при начальной расчетной длине, равной  $5d$  –  $\delta_5$ , при 100 мм –  $\delta_{100}$  и т.д.

Величину относительного равномерного удлинения  $\delta_p$  определяют во всех случаях вне участка разрыва на начальной расчетной длине, равной 50 или 100 мм. При этом расстояние от места разрыва до ближайшей метки начальной расчетной длины для арматуры диаметром 10 мм и более не должно

быть менее  $3d$  и более  $5d$ , а для арматуры диаметром менее 10 мм – от 30 до 50 мм.

Для определения величины относительного равномерного удлинения  $\delta_p$  конечную расчетную длину  $l_u$ , не включающую разрыва, определяют по меткам (рис. 20.1) с погрешностью не более 0,5 мм. Величину относительного равномерного удлинения (%) вычисляют по формуле

$$\delta_p = \frac{l_u - l_0}{l_0} \cdot 100. \quad (20.4)$$

Относительное удлинение и относительное равномерное удлинение после разрыва вычисляют с округлением до 0,5 %.

Временное сопротивление  $\sigma_b$ , определяют с погрешностью не более 5 МПа по формуле

$$\sigma_b = \frac{P_{max}}{F_0}, \quad (20.5)$$

где  $P_{max}$  – максимальная осевая растягивающая нагрузка, Н, при которой произо-

шел разрыв образца арматуры.

Предел текучести (физический)  $\sigma_m$  вычисляют также с погрешностью не более 5 МПа по формуле

$$\sigma_m = \frac{P_m}{F_0}, \quad (20.6)$$

где  $P_m$  – осевая растягивающая нагрузка, Н, при которой образец арматуры деформируется без заметного ее увеличения.

Условный предел текучести  $\sigma_{0,2}$  – это напряжение, при котором условно мгновенная пластическая деформация достигает 0,2 % расчетной длины образца арматуры. Условный предел текучести может быть определен аналитическим или графическим способами. В данной работе условный предел текучести рекомендуется определять аналитическим способом. Для этого вычисляют остаточную деформацию при  $\Delta l_m = 0,2$  % базы тензометра. Затем определяют среднюю величину упругой деформации  $\Delta l_y$  на одном этапе нагрузки, исходя из величины средней деформации, найденной на этапах нагружения, считая от начальной нагрузки, соответствующей 0,05 – 0,1 ожидаемой величины временного сопротивления ( $\sigma_b$ ) в интервале 0,1 – 0,4 предполагаемого усилия, соответствующего пределу текучести.

Нагрузку  $P_{0,2}$ , при которой будет обеспечено равенство  $\Delta l = \Sigma \Delta l_y + \Delta l_m$ , что соответствует условному пределу текучести  $\sigma_{0,2}$ , который вычисляют с погрешностью не более 5 МПа по формуле

$$\sigma_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{F_0}, \quad (20.7)$$

Результаты всех вычислений сводят в табл. 20.2.

Таблица 20.2

Номер образца	$l_0$ , мм	$l_1$ , мм	$l_k$ , мм	$l_u$ , мм	$\delta$ , %	$\delta_r$ , %	$\delta_p$ , %	$\delta_{p_r}$ , %	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_{b_r}$ , МПа	$\sigma_m$ , МПа	$\sigma_{m_r}$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_{0,2_r}$ , МПа
1...6														

## **20.6. Анализ результатов и выводы**

Полученные результаты испытания арматурной стали сравнивают со справочными характеристиками механических свойств стержневой арматуры и делают вывод о соответствии испытанной арматуры определенному классу.

## **20.7. Контрольные вопросы**

1. Какие существуют классы арматурной стали?
2. По каким характеристикам определяются механические свойства арматурной стали?
3. Что такое физический предел текучести арматурной стали?
4. Что такое условный предел текучести арматурной стали?
5. Как определяется временное сопротивление арматурной стали?
6. Как определяется относительное удлинение и относительное равномерное удлинение после разрыва и в чем их различие?

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 21**

### **ИСПЫТАНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКИ НА ИЗГИБ И РАСЧЕТ ЕЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ**

#### **21.1. Цель работы**

1. Ознакомление с методикой проведения испытания железобетонной балки на изгиб.
2. Экспериментальное определение и расчет несущей способности железобетонной балки.

#### **21.2. Краткие теоретические сведения**

В строительстве широкое применение получили сборные железобетонные конструкции, отличающиеся высокими физико-механическими свойствами и долговечностью, не требующие специального ухода во время монтажа и эксплуатации. Их применение сокращает сроки строительства, уменьшает его трудоемкость, повышает экономическую эффективность.

Железобетонные конструкции обычно проектируются таким образом, чтобы бетон в них воспринимал сжимающие нагрузки, а арматура – растягивающие усилия, возникающие в конструкции. В железобетонных изделиях в основном напряжения растяжения и среза воспринимаются стальной арматурой. Для правильного проектирования железобетонных конструкций, назначения требований к бетону и контроля его качества необходимо представлять особенности поведения бетона «под нагрузкой», роль методики оценки структуры бетона при определении его прочности. Поведение бетона «под нагрузкой» не только определяет его прочность – итоговый результат испытания, но и имеет существенное значение для определения надежности работы материала в условиях эксплуатации, для оценки его долговечности, трещиностойкости и других важных свойств [9].

### 21.3. Оборудование, приборы, инструменты и сырьевые материалы

Лабораторный смеситель принудительного действия; формы-кубы размером  $100 \times 100 \times 100$  мм (ГОСТ 22685-89\*); форма-балка размером  $1000 \times 100 \times 70$  мм; лабораторная виброплощадка с частотой колебаний  $2900 \pm 100$  кол/мин и амплитудой колебаний  $0,5 \pm 0,05$  мм; весы лабораторные общего назначения с разновесами (ГОСТ 24104-88\*); мерные цилиндры на 500, 1000 мл (ГОСТ 1770-74); кельмы; гидравлический пресс универсальная испытательная машина с траверсой; рычажные тензометры; индикаторы часового типа со стойками (ГОСТ 577), лупа. Сырьевые материалы: цемент (ГОСТ 10178-85, 31108-2016), песок природный сухой (ГОСТ 8736-2014), щебень из плотных пород сухой (ГОСТ 8267-93\*\*), вода (ГОСТ 23732-22011), арматурные каркасы для изготовления железобетонной балки.

### 21.4. Рабочее задание

1. Определить прочность на сжатие бетона и характеристики однородности бетона по прочности.
2. Определить несущую способность железобетонной балки и сравнить ее с нормативной.

### 21.5. Методика выполнения и результаты работы

Преподаватель задает определенный состав тяжелого цементного бетона. Расход материалов для приготовления бетонной смеси заносят в табл. 21.1.

Таблица 21.1

#### Расход материалов для приготовления бетонной смеси

Наименование компонента	Расход компонента на $1 \text{ м}^3$ бетонной смеси, кг	Расход компонента на замес, кг (объем замеса – 40 л)
Цемент		
Песок		
Щебень		
Вода		

Бетонную смесь объемом 40 л готовят в смесителе принудительного действия. Время перемешивания бетонной смеси принимают равным 4 минутам.

Из полученной бетонной смеси с помощью лабораторной виброплощадки формируют железобетонную балку размером  $1000 \times 100 \times 70$  мм и образцы-спутники размером  $100 \times 100 \times 100$  мм в количестве 30 штук. При формировании балку армируют двумя каркасами из арматурной стали (рис.21.1).

### Результаты испытаний бетонных образцов-кубов

Номер образца	Площадь испытываемой поверхности, см <sup>2</sup>	Разрушающая нагрузка, Н	Предел прочности при сжатии, МПа	Среднее значение предела прочности при сжатии, МПа	Коэффициент изменчивости, %

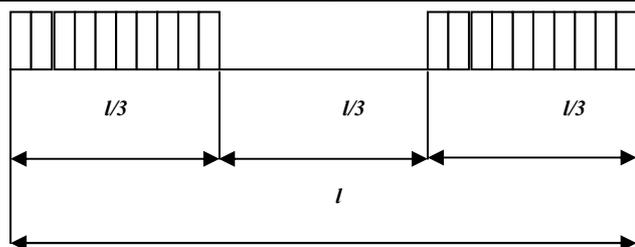


Рис. 21.1. Схема армирования балки

Образцы-спутники необходимы для оценки прочности бетона и его однородности по прочности. Твердение железобетонной балки и образцов-спутников осуществляют в одинаковых условиях (температура  $20 \pm 2$  °С и относительная влажность не менее 95%) в течение

28 суток, затем их подвергают испытанию. Прочность при сжатии образцов-кубов определяют в соответствии с ГОСТ 10180-2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам». Полученные результаты заносят в табл. 21.2.

Испытание железобетонной балки проводят на испытательной машине с траверсой. Балку устанавливают на машине и оснащают приборами (рычажными тензометрами в количестве 4 шт., индикаторами часового типа со стойками в количестве 3 шт.) согласно схеме (рис. 21.2).

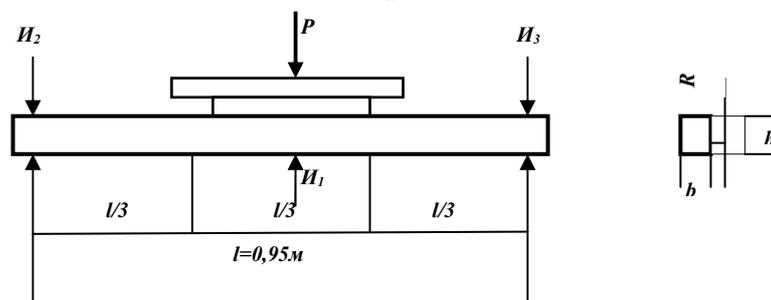


Рис. 21.2. Схема установки приборов на железобетонной балке

После этого производят центрирование балки по опорам и в точках приложения нагрузки. Нагрузку прикладывают ступенчато, каждую ступень принимают равной 0,1 от ожидаемой разрушающей нагрузки.

Первые отсчеты снимают при нагрузке 500 Н и заносят их в табл. 21.3 – 21.5.

### Результаты замеров деформаций обжатой зоны бетона

Номер ступени загрузки	Разрушающая нагрузка ( $P_p$ ), Н	Изгиб ающий момент, Н·см	Тензометры								$\epsilon_{дср}$	
			Т-1				Т-2					
			показания прибора	приращение деформаций, $\text{мм} \cdot 10^{-3}$	деформации, $\text{мм} \cdot 10^{-3}$	относительные деформации, ( $\epsilon_{з1}$ )	показания прибора	приращение деформаций, $\text{мм} \cdot 10^{-3}$	деформации, $\text{мм} \cdot 10^{-3}$	относительные деформации, ( $\epsilon_{з2}$ )		

Таблица 21.4

### Результаты замеров деформаций растянутой арматуры

Номер ступени загрузки	Разрушающая нагрузка ( $P_p$ ), Н	Изгиб ающий момент, Н·см	Тензометры								$\epsilon_{дср}$	
			Т-3				Т-44					
			показания прибора	приращение деформаций, $\text{мм} \cdot 10^{-3}$	деформации, $\text{мм} \cdot 10^{-3}$	относительные деформации, ( $\epsilon_{з3}$ )	показания прибора	приращение деформаций, $\text{мм} \cdot 10^{-3}$	деформации, $\text{мм} \cdot 10^{-3}$	относительные деформации, ( $\epsilon_{з4}$ )		

Таблица 21.5

### Результаты замеров прогиба железобетонной балки

Номер ступени загрузки	Разрушающая нагрузка ( $P_p$ ), Н	Изгиб ающий момент, Н·см	Индикаторы						относительный прогиб балки, ( $f/l$ ), мм
			И-1		И-2		И-3		
			показания прибора	прогиб, мм	показания прибора	деформация смятия бетона на над опорой, ( $C_m$ )	показания прибора	деформация смятия бетона над опорой, ( $C_n$ )	

В эти же таблицы в дальнейшем заносят, соответственно, результаты расчетов величин изгибающих моментов от действия внешних ( $M_{внеш}$ ) и внутренних ( $M_{внутр}$ ) сил.

Расчет железобетонной балки по предельному состоянию 1 группы выполняют из условий равенства моментов внешних и внутренних сил.

Момент внешних сил определяют по формуле

$$M_{внеш} = \frac{P \cdot l}{6}, \quad (21.1)$$

где  $P$  – величина расчетной разрушающей нагрузки, Н;

$l$  – пролет балки, см.

Момент внутренних сил определяют по формуле

$$M_{внутр} = R_a \cdot F_a \left( h_0 - \frac{xl}{2} \right) = b \cdot x \cdot R_{np} \left( x_0 - \frac{x}{2} \right), \quad (21.2)$$

где  $R_a$  – расчетное сопротивление арматуры (принимают по справочным данным), МПа;

$F_a$  – площадь поперечного сечения арматуры, см<sup>2</sup>;

$h_0$  – высота балки от верхней грани до оси растянутой арматуры, см;

$x$  – высота сжатой зоны бетона, см;

$b$  – ширина балки, см;

$R_{np}$  – расчетное сопротивление бетона, МПа.

Расчетное сопротивление бетона равно

$$R_{np} = R^H (0,77 - 0,0001 R_{cp}), \quad (21.3)$$

где  $R^H$  – нормативная прочность бетона, МПа;

$R_{cp}$  – среднее значение предела прочности бетона, МПа (табл. 18.2).

Нормативную прочность бетона определяют по формуле

$$R^H = R_{cp} (1 - 1,64 V_6), \quad (21.4)$$

где  $V_6$  – принимают по таблице 18.2.

Подставив выражения (21.1) и (21.2) в уравнение

$$M_{внеш} = M_{внутр}, \quad (21.5)$$

получают

$$\frac{P \cdot l}{6} = R_a \cdot F_a \left( h_0 - \frac{xl}{2} \right), \quad (21.6)$$

Отсюда величина расчетной разрушающей нагрузки ( $P$ ) определяют как

$$P = \frac{6 \cdot R_a \cdot F_a \left( h_0 - \frac{x}{2} \right)}{l}. \quad (21.7)$$

Значение  $x$  получают, используя выражение

$$x = \frac{R_a \cdot F_a}{R_{np} \cdot b}. \quad (21.8)$$

Нагрузку на железобетонную балку доводят до величины, принятой для первой степени нагружения. При этой нагрузке балку выдерживают в течение 2 мин и вновь снимают показания тензометров и индикаторов, которые заносят в табл. 21.3 - 21.5. Затем совершают переход на следующий этап нагружения. Процедуру снятия показаний тензометров и индикаторов повторяют на каждой степени нагружения аналогично указанному выше.

В процессе испытания с помощью лупы проводят визуальное наблюдение за состоянием балки с целью выявления трещин в растянутой зоне бетона. Трещины отмечают карандашом; черту проводят на расстоянии 1 - 2 мм от них, конец трещины каждый раз прочеркивают поперечной линией, против которой указывают номер этапа нагружения и ширину раскрытия трещины в мм.

Когда нагрузка станет близкой к разрушающей (показания приборов при постоянной нагрузке будут расти), тензометры и индикаторы снимают. Железобетонную балку доводят до разрушения и фиксируют величину нагрузки в соответствующих таблицах.

Результаты расчетов относительных деформаций сжатия бетона в верхней зоне и растяжения арматуры в нижней заносят в соответствующие графы табл. 21.3 и 21.4.

Прогиб балки при каждой ступени нагружения определяют по формуле

$$f = f' - \frac{C'_m + C''_m}{2}, \quad (21.9)$$

где  $f'$  - прогиб, определенный по показаниям индикатора  $I_1$ , мм;

$C'_m, C''_m$  - деформации смятия бетона над опорами, определенные по показаниям индикаторов  $I_2$  и  $I_3$ , мм.

Расчет железобетонной балки на несущую способность ( $P$ ) выполняют по формуле (21.7). Несущую способность балки ( $P_{раз}$ ), полученную экспериментальным путем/, сравнивают с расчетной величиной ( $P$ ).

### **21.6. Анализ результатов и выводы**

По результатам испытаний строят графические зависимости деформаций в бетоне и в арматуре, а также относительного прогиба балки от величины изгибающего момента. Затем анализируют состояние бетона и арматуры в зависимости от величины нагрузки.

### **21.7. Контрольные вопросы**

1. Как оценивается однородность бетона по прочности?
2. Что такое несущая способность железобетонной балки и как она определяется?
3. Каковы основные положения методики испытания железобетонной балки на несущую способность?
4. Как рассчитываются относительные деформации сжатия бетона в верхней зоне железобетонной балки?
5. Как рассчитать прогиб железобетонной балки?

## **Раздел «ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МОНОЛИТНЫХ БЕТОНОВ»**

### **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 22**

### **ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ВРЕМЕНИ "ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ" БЕТОННОЙ СМЕСИ НА ЕЕ ПОДВИЖНОСТЬ И ПРОЧНОСТЬ БЕТОНА**

#### **22.1. Цель работы**

1. Изучение влияния времени "транспортирования" бетонной смеси на ее подвижность.

2. Изучение влияния времени "транспортирования" бетонной смеси на прочность бетона.

### **22.2. Краткие теоретические сведения**

Для возведения монолитных конструкций бетонную смесь транспортируют к месту укладки различными способами. При любом методе транспортирования следует предохранять бетонную смесь от нежелательных воздействий вибрирования и встряхивания, так как это может вызвать ее расслоение, особенно если бетонная смесь имеет пластичную консистенцию. При перевозке следует учитывать потерю подвижности бетонной смеси вследствие продолжающейся гидратации цемента и частичной потери воды из-за испарения. При транспортировании и укладке бетона нужно тщательно контролировать бетонную смесь для сохранения ее однородности внутри замеса и от замеса к замесу, чтобы вся конструкция имела одинаковое качество. Для этого необходимо следить за тем, чтобы не было отделения крупного заполнителя от раствора или воды от других составляющих бетонной смеси. Удобнее всего транспортировать бетонную смесь нагнетанием по стальным трубопроводам. Нагнетание требует применения удобоукладываемой бетонной смеси с повышенным содержанием мелкого заполнителя. Предельная крупность щебня должна быть менее  $1/3$  диаметра трубопровода. Обычно применяют бетонные смеси с осадкой конуса 8 - 12 см и более [13]. Определенные ограничения существуют и по верхнему пределу подвижности - приблизительно 14 см, так как более подвижные смеси могут расслаиваться при перекачке.

Цементного теста и раствора в смеси должно быть достаточно, чтобы при перекачке была возможность воспринимать и передавать давление через несжимаемую дисперсную среду. Минимальный расход цемента должен составлять не менее  $250 \text{ кг/м}^3$ , содержание песка в перекачиваемых бетонных смесях несколько увеличивают и обычно назначают равным 0,4...0,5 от массы заполнителей. Пески должны содержать достаточное количество мелких фракций размером до 0,2 мм. Суммарное содержание цемента и мелких фракций должно быть более  $350 \text{ кг/м}^3$ . Увеличение расхода цемента, уменьшение предельной крупности заполнителя, применение добавок-пластификаторов при условии предохранения бетонной смеси от расслаиваемости облегчает ее перекачку по трубопроводам. Оптимальным принято считать соотношение между содержанием мельчайших частиц твердой фазы и крупных фракций песка и щебня, приблизительно равным 1 : 3.

### **22.3. Оборудование, приборы, инструменты и сырьевые материалы**

Лабораторный смеситель принудительного действия; лабораторная виброплощадка; встряхивающий столик; весы торговые с пределом взвешивания до 10 кг (ГОСТ 24104-88\*); секундомер; пресс гидравлический; формы-кубы размером  $100 \times 100 \times 100$  мм (ГОСТ 22685-89\*); формы-кубы раз-

мером 200 × 200 × 200 мм (ГОСТ 22685-89\*); мерные цилиндры на 1000 мл (ГОСТ 1770-74); ёмкости для взвешивания сырьевых материалов; совки, кельмы; металлические линейки (ГОСТ 427-75\*). Сырьевые материалы: цемент (ГОСТ 10178-85, 31108-2016), песок природный сухой (ГОСТ 8736-2014), щебень из плотных горных пород сухой (ГОСТ 8267-93\*\*), добавки ПАВ (ЛСТ, С-3, ЛСТМ-2 и др.), вода (ГОСТ 23732-2011).

#### 22.4. Рабочее задание

1. Изучить влияние времени "транспортирования" бетонной смеси на ее подвижность (на физической модели).
2. Изучить влияние условий "транспортирования" бетонной смеси на прочность бетона (подвижность бетонной смеси принять постоянной).

#### 22.5. Методика выполнения и результаты работы

Студенческая подгруппа разбивается на 2 звена, каждое из которых работает с бетонной смесью определенной подвижности (состав бетонной смеси задает преподаватель). В табл. 22.1 заносят данные о расходах сырьевых материалов на 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси и на замес, равный 24 л.

Таблица 22.1

#### Расход сырьевых материалов

Наименование материала	Расход материала, кг	
	на 1 м <sup>3</sup>	на замес
Цемент		
Песок		
Щебень		
Вода		

Бетонную смесь готовят в лабораторном смесителе принудительного действия, время перемешивания принимают равным 4 мин. После приготовления бетонной смеси определяют ее подвижность. Результаты заносят в табл. 22.2.

Таблица 22.2

#### Результаты испытаний бетонной смеси на модельной установке

Заданная величина В/Ц-отношения	Подвижность бетонной смеси (начальная), см	Время "транспортирования" (встряхивания), мин	Подвижность бетонной смеси после "транспортирования", см	Величина В/Ц-отношения после корректировки состава бетонной смеси

Из бетонной смеси формируют 3 эталонных образца размером 100 × 100 × 100 мм.

Моделирование процесса транспортирования бетонной смеси осуществляют следующим образом. Из приготовленного замеса бетонной смеси отбирают пробу и помещают в форму-куб размером 200 × 200 × 200 мм, которую устанавливают на встряхивающем столике. Бетонную смесь подвергают встряхиванию через равные промежутки времени -15 мин. Продолжительность встряхивания составляет 2 мин с интенсивностью 1 удар/с. Время испытания бетонной смеси составляет 60 мин.

После проведения этого испытания определяют подвижность бетонной смеси. Если она окажется меньше исходной (начальной) подвижности, то в бетонную смесь добавляют определенное количество цементного теста с заданным В/Ц для того, чтобы подвижность смеси достигла своей первоначальной величины.. Тем самым осуществляют корректировку состава бетона. Из полученной после "транспортирования" бетонной смеси формируют 4 образца-куба размером 100 × 100 × 100 мм.

Из оставшейся части бетонной смеси изготавливают 4 образца-куба размером 100 × 100 × 100 мм, которые подвергают испытанию на встряхивающем столике по вышеописанной методике в течение 90 мин.

Все изготовленные образцы твердеют в нормальных условиях при температуре 20±2 °С, относительной влажности не менее 95 % в течение 28 сут. Образцы испытывают на прочность при сжатии, затем проводят статистическую обработку полученных результатов. Экспериментальные данные заносят в табл. 22.3и строят графические зависимости.

Таблица 22.3

### Результаты испытаний образцов бетона

Время - "транспортирования" бетонной смеси	Номер образца	В/Ц-отношение	Площадь испытуемой поверхности образца, см <sup>2</sup>	Разрушающая нагрузка, Н	Предел прочности при сжатии, МПа	Среднее значение предела прочности при сжатии, МПа	Коэффициент изменчивости, %

### 22.6. Анализ результатов и выводы

На основании полученных результатов делают выводы о том, как влияет время "транспортирования" бетонной смеси на ее подвижность, прочность при сжатии бетона и его однородность, как условия "танспортирования" влияют на свойства бетонной смеси и бетона. Оценивают влияние корректировки состава бетонной смеси на прочность бетона.

### 22.7. Контрольные вопросы

1. Какие виды оборудования применяют для транспортирования бетонной смеси?
2. Какие факторы влияют на изменение подвижности бетонной смеси при транспортировании?
3. Как влияют условия транспортирования бетонной смеси на прочность бетона?
4. Какие способы регулирования подвижности бетонной смеси Вы знаете?

## **ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 23**

### **ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ СУХОГО И ЖАРКОГО КЛИМАТА НА ПРОЧНОСТЬ БЕТОНА ПРИ СЖАТИИ**

#### **23.1. Цель работы**

1. Изучение влияния сухого и жаркого климата на процесс твердения и прочность бетона.
2. Изучение влияния В/Ц-отношения на прочностные показатели бетона, твердеющего в условиях сухого и жаркого климата.

#### **23.2. Краткие теоретические сведения**

Необходимыми условиями для эффективного твердения бетона являются присутствие влаги и наличие повышенных температур. Свежеуложенный бетон содержит больше воды чем необходимо для полной гидратации цемента, но если не принять соответствующих мер предосторожности, то в большинстве случаев значительное количество воды будет потеряно в результате испарения. Особенно интенсивно процесс потери влаги протекает в условиях сухого и жаркого климата. Следовательно, для получения бетона высокого качества его необходимо предохранять от потери влаги, особенно на ранних стадиях твердения.

Применительно к монолитному бетонированию влагу в бетоне можно сохранить одним из следующих способов: задержкой распалубки конструкций, поливкой водой, применением влагоудерживающих покровов или с помощью специального защитного слоя, наносимого на бетон в жидком виде, который, затвердевая, образует тонкую пленку. Следует также предохранять поверхность бетона от высыхания в промежутках между поливами, так как, если будет иметь место попеременное увлажнение и высушивание свежеуложенного бетона, это приведет к образованию волосяных трещин или к растрескиванию поверхности бетона. Продолжительность ухода за бетоном, как правило, определяется сроком, при котором его прочность достигает 50...70 % от проектной прочности [14].

Испарение влаги с поверхности бетона, происходящее при неблагоприятных температурно-влажностных условиях, достигает весьма значительных величин. Установлено, что при скорости испарения, превышающей 0,5 кг/м<sup>2</sup>ч/, образование поверхностных трещин бетона от пластической усадки является неизбежным.

Важнейшим в технологии является правильное назначение сроков начала ухода за бетоном и его продолжительности. Особые требования к режимам ухода за бетоном предъявляются в условиях сухого и жаркого климата, когда одновременно воздействуют температура выше 25 °С и влажность менее 50 %. Во всех случаях влажностный уход за бетоном должен начинаться после протекания начальной фазы гидратации. Этот период соответствует ориентировочно достижению бетоном прочности 0,3...0.5 МПа. Продолжительность его зависит от вида цемента, состава бетона, температуры твердения и пр.

### 23.3. Оборудование, приборы, инструменты и сырьевые материалы

Лабораторный смеситель принудительного действия; лабораторная виброплощадка; сушильный шкаф (ТУ 16.681.032); весы торговые с пределом взвешивания до 10 кг (ГОСТ 24104-88); пресс гидравлический; формы-кубы размером 100 × 100 × 100 мм (ГОСТ 22685-89\*); мерные цилиндры на 1000 мл (ГОСТ 1770-74); ёмкости для взвешивания сырьевых материалов; совки, кельмы. Сырьевые материалы: цемент (ГОСТ 10178-85, 31108-2016), песок природный сухой (ГОСТ 8736-2014), щебень из плотных горных пород сухой (ГОСТ 8267-93\*\*), вода (ГОСТ 23732-2011).

### 23.4. Рабочее задание

1. Исследовать влияние сухих условий твердения на прочность бетона при сжатии.
2. Изучить влияние В/Ц-отношения на прочностные показатели бетона.

### 23.5. Методика выполнения и результаты работы

Студенческая подгруппа разбивается на 3 звена, каждое из которых готовит бетонную смесь с постоянным значением В/Ц-отношения, задаваемым преподавателем. В табл. 23.1 заносят данные о расходах сырьевых материалов на 1 м<sup>3</sup> бетона, которые задает преподаватель, и на замес.

Таблица 23.1

#### Расход сырьевых материалов для приготовления бетонной смеси

В/Ц-отношение	Наименование материала	Расход материалов, кг	
		на 1 м <sup>3</sup>	на замес
	Цемент		
	Песок		

	Щебень		
	Вода		

Из бетонных смесей, отличающихся величиной В/Ц-отношения, каждое звено формует образцы-кубы размером  $100 \times 100 \times 100$  мм в количестве 12 шт. Из каждой серии 6 образцов-кубов отбирают для твердения в нормальных условиях (температура  $20 \pm 2$  °С, относительная влажность не менее 95 %) в течение 28 сут. Эти образцы являются контрольными. Остальные 6 образцов твердеют в течение первых суток в нормальных условиях, после чего их помещают в сушильный шкаф и выдерживают при температуре 40 °С и относительной влажности 50 % до достижения ими 28-суточного возраста. После окончания твердения все образцы испытывают на прочность при сжатии. Затем проводят статистическую обработку результатов испытаний. Полученные данные заносят в табл. 23.2

Таблица 23.2

### Результаты испытаний образцов бетона на прочность при сжатии

Условия твердения бетона	В/Ц-отношение	Номер образца	Площадь испытываемой поверхности образца, см <sup>2</sup>	Разрушающая нагрузка, Н	Предел прочности при сжатии, МПа	Среднее значение предела прочности при сжатии, МПа	Коэффициент изменчивости, %

### 23.6. Анализ результатов и выводы

На основании полученных результатов делают выводы о том, как условия твердения бетона влияют на его прочность при сжатии. Оценивают зависимость прочности бетона, твердеющего в сухих условиях, от величины В/Ц-отношения.

### 23.7. Контрольные вопросы

1. При каких значениях температуры и влажности воздуха возникают условия сухого и жаркого климата?
2. Как влияют температурно-влажностные условия на прочность бетона при сжатии?
3. Какие требования предъявляются к бетонной смеси, твердеющей в условиях сухого и жаркого климата?
4. Какие меры предусматриваются для того, чтобы обеспечить получение качественного бетона при его твердении в условиях сухого и жаркого климата?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 24

### ИССЛЕДОВАНИЕ ТВЕРДЕНИЯ БЕТОНА В ЗИМНИХ УСЛОВИЯХ И ВЛИЯНИЯ ПРОТИВОМОРОЗНЫХ ДОБАВОК НА КИНЕТИКУ НАБОРА ПРОЧНОСТИ БЕТОНА

## 24.1. Цель работы

1. Изучение влияния отрицательных температур на процесс твердения бетона и его прочность.
2. Исследование влияния противоморозных добавок на кинетику прочности бетона.

## 24.2. Краткие теоретические сведения

Нормальной температурой среды для твердения бетона условно считается 15...20 °С. При пониженной температуре прочность бетона нарастает медленнее, а при температуре ниже 0 °С твердение практически прекращается. Бетон, начавший твердеть, а затем замерзший, после оттаивания продолжает твердеть в теплой среде, и прочность его постепенно нарастает, однако, как правило, отстает от прочности бетона, твердевшего при нормальной температуре.

Замерзание бетона в раннем возрасте влечет за собой значительное понижение его прочности после оттаивания и в процессе дальнейшего твердения по сравнению с нормально твердеющим бетоном. Это объясняется тем, что свежесформованный бетон насыщен водой, которая при замерзании расширяется и разрывает связи между поверхностью заполнителей и низким по прочности цементным камнем. Раннее замораживание отрицательно сказывается также на сцеплении бетона со стальной арматурой. В связи с этим бетон следует предохранять от замерзания до приобретения им минимальной (критической) прочности, которая обеспечивает необходимое сопротивление давлению льда и сохранение в последующем (при положительных температурах) способности к твердению без значительного ухудшения основных свойств бетона.

Если к бетону предъявляются высокие требования по динамическим свойствам, водонепроницаемости и морозостойкости, то его следует предохранять от замерзания до достижения марочной прочности, так как замораживание может нарушить структуру и ухудшить его особые свойства.

При бетонировании зимой необходимо обеспечить твердение бетона с сохранением его качественной структуры и дальнейшее твердение после оттаивания. Это достигается использованием внутреннего запаса теплоты бетона и дополнительной подачи бетону теплоты извне. Внутренний запас теплоты создают путем подогрева материалов, составляющих бетонную смесь. Кроме того, в твердеющем бетоне теплота выделяется в результате реакций гидратации (изотермия цементов). необходимо учитывать, что бетонная смесь при подогреве не должна иметь температуру выше 40 °С, так как при более высокой температуре смесь быстро теряет свою подвижность. При зимнем бетонировании минимальная температура бетонной смеси при укладке в массивы должна быть не ниже +5 °С.

Кроме способов, требующих подогрева составляющих бетона или самого бетона, применяют холодный способ зимнего бетонирования, при котором в воду для приготовления бетонной смеси вводят добавки солей  $\text{CaCl}_2$ ,

NaCl, NaNO<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> и др., обеспечивающих твердение бетона на морозе. Количество соли, добавляемое в бетон, зависит от ожидаемой средней температуры твердения бетона. При приготовлении бетонной смеси с противоморозными добавками можно использовать холодные заполнители и укладывать смесь с температурой до (-5 °С).

Способ зимнего бетонирования с применением противоморозных добавок прост и экономичен, но большое количество соли, вводимой в бетон, может ухудшить его структуру и понизить долговечность. Кроме того, например, под действием хлористых солей имеется опасность коррозии арматуры в бетоне. Поэтому при использовании противоморозных добавок существуют определенные ограничения. Такой бетон не рекомендуется применять в ответственных конструкциях, при наличии реакционноспособного кремнезема в зернах заполнителя, если конструкции предназначены для эксплуатации во влажных условиях, а бетон с хлористыми солями нельзя применять в железобетонных конструкциях.

### **24.3. Оборудование, приборы, инструменты и сырьевые материалы**

Лабораторный смеситель принудительного действия; лабораторная виброплощадка; морозильная камера; весы торговые с пределом взвешивания до 10 кг (ГОСТ 24104-88); пресс гидравлический; формы-кубы размером 100 × 100 × 100 мм (ГОСТ 22685-89\*); мерные цилиндры на 1000 мл (ГОСТ 1770-74); ёмкости для взвешивания сырьевых материалов; совки, кельмы. Сырьевые материалы: цемент (ГОСТ 10178-85, 31108-2016), песок природный сухой (ГОСТ 8736-2014), щебень из плотных горных пород сухой (ГОСТ 8267-93\*\*), добавки ПАВ (ЛСТ, С-3, ЛСТМ-2 и др.), вода (ГОСТ 23732-2011).

### **24.4. Рабочее задание**

1. Изучить влияние сухих отрицательных температур на твердение бетона и его прочность.
2. Изучить влияние противоморозной добавки на кинетику набора прочности бетона при сжатии.

### **24.5. Методика выполнения и результаты работы**

Студенческая подгруппа разбивается на 3 звена. Первое звено готовит бетонную смесь объемом 13 л (расход материалов на замес задает преподаватель) и формирует серии образцов-кубов размером 100 × 100 × 100 мм в количестве 12 шт. То же самое делает второе звено. Образцы, приготовленные первым звеном, помещают в морозильную камеру, где поддерживается температура (-10 °С), и выдерживают там до назначенных сроков испытания - 14 и 28 сут. Образцы, приготовленные вторым звеном, являются контрольными и твердеют в нормальных условиях. Сроки испытания этих образцов - те же.

Третье звено готовит бетонную смесь с противоморозной добавкой поташа ( $K_2CO_3$ ) в количестве 10 % от массы цемента в расчете на сухое вещество.

Расход добавки в л ( $D$ ) при заданной концентрации а 1 м<sup>3</sup> бетона рассчитывают по формуле

$$D = \frac{C \cdot S}{K \cdot \rho}, \quad (24.1)$$

где  $C$  – расход цемента, кг/м<sup>3</sup>;

$S$  - дозировка добавки, % от массы цемента в пересчете на сухое вещество добавки (10 %);

$K$  - концентрация водного раствора добавки, %;

$\rho$  – плотность водного раствора добавки, кг/л.

Количество воды, недостающее для затворения 1 м<sup>3</sup> бетона ( $H$ ), определяют по формуле

$$H = B - D \rho(1 - 0,01K), \quad (24.2)$$

где  $B$  - расход воды на 1 м<sup>3</sup> бетона без добавки, л.

Раствор противоморозной добавки дозируют в бетонную смесь совместно с водой затворения. Замес бетонной смеси с противоморозной добавкой также составляет 13 л. Формуют 12 образцов-кубов размером 100 × 100 × 100 мм, которые хранят в морозильной камере при температуре (-10 °С) и испытывают в возрасте 14 и 28 сут по 6 образцов в каждый срок испытания. Перед испытанием замороженные образцы выдерживают на воздухе в течение 4 ч при комнатной температуре.

Результаты испытаний всех образцов заносят в табл. 24.1.

Таблица 24.1

#### Результаты испытаний образцов бетона на прочность при сжатии

Состав бетона	Сроки испытания образцов, сут	Условия твердения образцов	Количество противоморозной добавки, % от массы цемента	Номер образца	Испытуемая площадь образца, см <sup>2</sup>	Разрушающая нагрузка, Н	Предел прочности при сжатии, МПа	Среднее значение предела прочности при сжатии, МПа	Коэффициент изменчивости, %

#### 24.6. Анализ результатов и выводы

На основании полученных результатов делают выводы о влиянии отрицательных температур при твердении бетона на процесс набора прочности. Для этого сравнивают прочностные показатели образцов, выдерживаемых при твердении в нормальных условиях и при отрицательной температуре.

Оценивают влияние противоморозной добавки - поташа - на прочность бетона и кинетику его твердения. Делают вывод об эффективности применения противоморозных добавок при бетонировании конструкций в зимних условиях.

### 24.7. Контрольные вопросы

1. Что такое "зимнее бетонирование" и в каких температурных условиях оно проводится?
2. Какое влияние оказывает отрицательная температура на процессы гидратации цемента и твердения бетона?
3. Каков механизм действия противоморозных добавок в цементном бетоне?
4. Как влияет величина отрицательной температуры на выбор вида и дозировку противоморозной добавки в цементный бетон?
5. Каковы основные этапы технологии зимнего бетонирования в присутствии противоморозных добавок?

## ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица П

### Значение коэффициента теплопроводности строительных материалов

Материал	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)		
	в сухом состоянии	условия А («обыч- ные»)	условия Б («влаж- ные»)
Пенополистирол (ППС)	0,036 - 0,041	0,038 - 0,044	0,044 - 0,050
Войлок шерстяной	0,045		
Цементно-песчаный раствор (ЦПР)	0,58	0,76	0,93
Известково-песчаный раствор	0,47	0,7	0,81
Гипсовая штукатурка обычная	0,25		
Минеральная вата каменная, 180 кг/м <sup>3</sup>	0,038	0,045	0,048
Минеральная вата каменная, 25-50 кг/м <sup>3</sup>	0,036	0,042	0,045
Минеральная вата стеклянная, 85 кг/м <sup>3</sup>	0,044	0,046	0,05
Минеральная вата стеклянная, 20 кг/м <sup>3</sup>	0,04	0,043	0,048
Пенобетон и газобетон на цементном вяжущем, 1000 кг/м <sup>3</sup>	0,29	0,38	0,43
Пенобетон и газобетон на цементном вяжущем, 800 кг/м <sup>3</sup>	0,21	0,33	0,37
Пенобетон и газобетон на цементном вяжущем, 600 кг/м <sup>3</sup>	0,14	0,22	0,26
Пенобетон и газобетон на цементном вяжущем,	0,11	0,14	0,15

400 кг/м <sup>3</sup>			
Пенобетон и газобетон на известняковом вяжущем, 1000 кг/м <sup>3</sup>	0,31	0,48	0,55
Пенобетон и газобетон на известняковом вяжущем, 800 кг/м <sup>3</sup>	0,23	0,39	0,45
Пенобетон и газобетон на известняковом вяжущем, 600 кг/м <sup>3</sup>	0,15	0,28	0,34
Пенобетон и газобетон на известняковом вяжущем, 400 кг/м <sup>3</sup>	0,13	0,22	0,28
Сосна, ель поперек волокон	0,09	0,14	0,18

Продолжение табл. П

Материал	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)		
	в сухом состоянии	условия А («обычные»)	условия Б («влажные»)
Сосна, ель вдоль волокон	0,18	0,29	0,35
Дуб поперек волокон	0,10	0,18	0,23
Дуб вдоль волокон	0,23	0,35	0,41
Медь	382 - 390		
Алюминий	202 - 236		
Латунь	97 - 111		
Железо	92		
Олово	67		
Сталь	47		
Стекло оконное	0,76		
Свежий снег	0,10 - 0,15		
Фанера клееная	0,12	0,15	0,18
ДСП, ДВП, 1000 кг/м <sup>3</sup>	0,15	0,23	0,29
ДСП, ДВП, 800 кг/м <sup>3</sup>	0,13	0,19	0,23
ДСП, ДВП, 600 кг/м <sup>3</sup>	0,11	0,13	0,16
ДСП, ДВП, 400 кг/м <sup>3</sup>	0,08	0,11	0,13
ДСП, ДВП, 200 кг/м <sup>3</sup>	0,06	0,07	0,08
Пакля	0,05	0,06	0,07
Гипсокартон 1050 кг/м <sup>3</sup>	0,15	0,34	0,36
Гипсокартон 800 кг/м <sup>3</sup>	0,15	0,19	0,21
Линолеум из ПВХ на теплоизолирующей подоснове, 1800 кг/м <sup>3</sup>	0,38	0,38	0,38
Линолеум из ПВХ на теплоизолирующей подоснове, 1600 кг/м <sup>3</sup>	0,33	0,33	0,33

Линолеум из ПВХ на тканевой подоснове, 1800 кг/м <sup>3</sup>	0,35	0,35	0,35
Линолеум из ПВХ на тканевой подоснове, 1600 кг/м <sup>3</sup>	0,29	0,29	0,29
Линолеум из ПВХ на тканевой подоснове, 1400 кг/м <sup>3</sup>	0,2	0,23	0,23
Эковата	0,037 - 0,042		
Перлит вспученный, песок, плотность 75 кг/м <sup>3</sup>	0,043 - 0,047		
Перлит вспученный, песок, плотность 100 кг/м <sup>3</sup>	0,052		
Перлит вспученный, песок, плотность 150 кг/м <sup>3</sup>	0,052 - 0,058		

Окончание табл. П

Материал	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°С)		
	в сухом состоянии	условия А («обычные»)	условия Б («влажные»)
Пеностекло, насыпное, плотность 151 - 200 кг/м <sup>3</sup>	0,06 - 0,063		
Пеностекло, насыпное, плотность 201 - 250 кг/м <sup>3</sup>	0,066 - 0,073		
Пеностекло, насыпное, плотность 251 - 400 кг/м <sup>3</sup>	0,085 - 0,1		
Пеностекло, блоки, плотность 100 - 120 кг/м <sup>3</sup>	0,043 - 0,045		
Пеностекло, блоки, плотность 121 - 170 кг/м <sup>3</sup>	0,05 - 0,062		
Пеностекло, блоки, плотность 171 - 220 кг/м <sup>3</sup>	0,057 - 0,063		
Пеностекло, блоки, плотность 221 - 270 кг/м <sup>3</sup>	0,073		
Керамзит, гравий, плотность 250 кг/м <sup>3</sup>	0,099 - 0,1	0,11	0,12
Керамзит, гравий, плотность 300 кг/м <sup>3</sup>	0,108	0,12	0,13
Керамзит, гравий, плотность 350 кг/м <sup>3</sup>	0,115 - 0,12	0,125	0,14
Керамзит, гравий, плотность 400 кг/м <sup>3</sup>	0,12	0,13	0,145
Керамзит, гравий, плотность 450 кг/м <sup>3</sup>	0,13	0,14	0,155
Керамзит, гравий, плотность 500 кг/м <sup>3</sup>	0,14	0,15	0,165
Керамзит, гравий, плотность 600 кг/м <sup>3</sup>	0,14	0,17	0,19
Керамзит, гравий, плотность 800 кг/м <sup>3</sup>	0,18		
Гипсоплиты, плотность 1350 кг/м <sup>3</sup>	0,35	0,50	0,56
Гипсоплиты, плотность 1100 кг/м <sup>3</sup>	0,23	0,35	0,41
Перлитобетон, плотность 1200 кг/м <sup>3</sup>	0,29	0,44	0,5
Перлитобетон, плотность 1000 кг/м <sup>3</sup>	0,22	0,33	0,38
Перлитобетон, плотность 800 кг/м <sup>3</sup>	0,16	0,27	0,33

Перлитобетон, плотность 600 кг/м <sup>3</sup>	0,12	0,19	0,23
Пенополиуретан (ППУ), плотность 80 кг/м <sup>3</sup>	0,041	0,042	0,05
Пенополиуретан (ППУ), плотность 60 кг/м <sup>3</sup>	0,035	0,036	0,041
Пенополиуретан (ППУ), плотность 40 кг/м <sup>3</sup>	0,029	0,031	0,04
Пенополиэтилен	0,031 - 0,038		

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Баженов, Ю.М. Технология бетона: учебник / Ю.М. Баженов. - М.: Изд – во АСВ, 2011. – 528 с.
2. Баженов, Ю.М. Технология бетонных и железобетонных изделий: учебник / Ю.М. Баженов., А.Г. Комар - М.: Стройиздат, 1984. - 672 с.
3. Гершберг, О.А. Технология бетонных и железобетонных изделий: учебник / О.А. Гершберг. - М.: Стройиздат, 1971. – 359 с.
4. Королев, К.М. Механизация приготовления и укладки бетонной смеси: учебник / К.М. Королев. - М.: Стройиздат, 1986. – 134 с.
5. Малинина, Л.А. Тепловлажностная обработка тяжелого бетона: учебник / Л.А. Малинина. - М.: Стройиздат, 1977. - 158 с.
6. Перцев, В.Т. Управление процессами раннего структурообразования бетонов: монография / В.Т. Перцев. - Воронеж: ВГАСУ, 2006. – 234 с.
7. ГОСТ 22690-2015. Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля. - Введ. 2016-04-01. - М.: Стандартинформ, 2016. - 20 с.
8. Помазков, В.В. Основы оптимизации состава и условий производства бетона. Труды проблемной лаборатории силикатных материалов и конструкций. Исследования по цементным и силикатным бетонам: сб. науч. тр. / В.В.Помазков. - Воронеж: ВИСИ, 1971. – 128 с.
9. Авдейчиков, Г.В. Испытание строительных конструкций / Г.В. Авдейчиков. - М.: Изд-во АСВ, 2009. – 160 с.
10. Стефанов, Б.В. Технология бетонных и железобетонных изделий: учебник / Б.В. Стефанов. - Киев.: Высшая школа, 1982. - 486 с.
11. Рекомендации по подбору составов тяжелых и мелкозернистых бетонов (к ГОСТ 27006-86). - Госстрой СССР. - М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1990. - 72 с.
12. Пособие по применению химических добавок при производстве сборных железобетонных конструкций и изделий (к СНиП 3.09.01-85): учеб. пос. - М.: Стройиздат, 1989. - 39 с.

13. Хаютин, Ю.Г. Монолитный бетон: технология производства работ: учебник / Ю.Г. Хаютин. - М.: Стройиздат, 1991. - 576 с.
14. Евдокимов, Н.И. Технология монолитного бетона и железобетона: учеб. пособие для ВУЗов / Н.И. Евдокимов, А.Ф.Мацкевич, В.С.Сытник. - М.: Высшая школа, 2012. - 334с.
15. СНиП 82-02-95. Федеральные типовые элементные нормы расхода цемента при изготовлении бетонных и железобетонных изделий и конструкций. - Введ. 1996-01-07. - М.: Минстрой России, 1996. - 14 с.
16. ГОСТ 27006-86. Бетоны. Правила подбора состава. - Введ. 1987-01-01. - М.: Изд-во стандартов, 1987. - 9 с.
17. ГОСТ 18105-2010. Бетоны. Правила контроля и оценки прочности. - Введ. 2012-09-01. - М.: Стандартиформ, 2012. - 12 с.
18. Рекомендации по подбору составов легких бетонов (к ГОСТ 27006-86). – Госстрой СССР. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1990. – 85 с.
19. ГОСТ 7473-2010. Смеси бетонные. Технические условия. - Введ. 2012-01-01. - М.: Стандартиформ, 2011. - 16 с.
20. ГОСТ 10181-2014. Смеси бетонные. Методы испытаний. - Введ. 2015-07-01. - М.: Стандартиформ, 2015. - 24 с.
21. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. - Введ. 2013-07-01. - М.: Стандартиформ, 2013. - 31 с.
22. ГОСТ 12004-81. Сталь арматурная. Методы испытания на растяжение. - Введ. 1983-07-01. - М.: Изд-во стандартов, 1983. - 11 с.
23. ГОСТ 8829-94. Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. Методы испытания нагружением. Правила оценки прочности жесткости и трещиностойкости. - Введ. 1997-07-07. - М.: Изд-во стандартов, 1998. - 29 с.
24. ГОСТ 380-2005. Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки. - Введ. 2008-01-01. - М.: Стандартиформ, 2009. - 8 с.
25. ГОСТ 10178-85. Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия. - Введ. 1987-01-01. - М.:Изд-во стандартов, 1987. - 6 с.
26. ГОСТ 310.1-76. Цементы. Методы испытаний. Общие положения. - Введ. 1976-10-04. - М.: Изд-во стандартов, 1976. - 2 с.
27. ГОСТ 310.2-76. Цементы. Методы определения тонкости помола. - Введ. 1978-01-01. - М.: Изд-во стандартов, 1976. - 5 с.
28. ГОСТ 310.3-76. Цементы. Методы определения нормальной плотности, сроков схватывания и равномерности изменения объема. Введ. 1976-10-04. - М.: Изд-во стандартов, 1976. - 10 с.
29. ГОСТ 310.4-81. Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии. - Введ. 1983-07-01. - М.: Изд-во стандартов, 1981. - 12с.
30. ГОСТ 8736-2014. Песок для строительных работ. Технические условия. - Введ. 2015-04-01. - М.: Стандартиформ, 2015. - 8 с.
31. ГОСТ 8735-88. Песок для строительных работ. Методы испытаний. - Введ. 1989-07-01. - М.: Изд-во стандартов, 1989. - 26 с.

32. ГОСТ 8267-93. Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия. - Введ. 1995-01-01. - М.: Изд-во стандартов, 1995. - 10 с.

33. ГОСТ 8269.0-97. Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ. Методы испытаний. - Введ. 1998-07-01. - М.: Изд-во стандартов, 1998. - 97 с.

34. ГОСТ 23735-2014. Смеси песчано-гравийные для строительных работ. Технические условия. - Введ. 2015-07-01. - М.: Стандартинформ, 2015. - 6 с.

35. ГОСТ 5802-86. Растворы строительные. Методы испытаний. - Введ. 1986-07-01. - М.: Изд-во стандартов, 1986. - 14 с.

36. ГОСТ 23732-2011. Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия. - Введ. 2012-10-01. - М.: Стандартинформ, 2012. - 12 с.

37. ГОСТ 31108-2016. Цементы общестроительные. Технические условия. - Введ. 2017-03-01. - М.: Стандартинформ, 2016. - 12 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b> .....	3
<b>РАЗДЕЛ «БЕТОНОВЕДЕНИЕ»</b> .....	4
<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1. Изучение основных свойств сырьевых материалов для бетонов</b> .....	4
<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2. Изучение основных свойств бетонной смеси</b> .....	7
<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3. Исследование влияния добавок-модификаторов пластифицирующего действия на свойства бетонной смеси и бетона.</b> .....	19
<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4. Исследование зависимости реологической характеристики бетонной смеси от ее состава</b> .....	24
<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5. Исследование зависимости прочности бетона от водоцементного отношения</b> .....	28
<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6. Проектирование состава тяжёлого цементного бетона экспериментально-расчётным методом.</b> .....	33
<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7. Проектирование состава тяжёлого цементного бетона расчётно-экспериментальным методом</b> .....	38
<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8. Проектирование состава легкого бетона на пористых заполнителях</b> .....	42
<b>Раздел «ЗАВОДСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ БЕТОНА»</b> .....	49
<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9. Исследование влияния параметров процесса перемешивания бетонной смеси на основные свойства цементного бетона.</b> .....	49
<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10. Исследование влияния параметров процесса виброуплотнения бетонной смеси на основные свойства це-</b>	

ментного бетона . . . . .	54
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11. Исследование влияния параметров режима тепловлажностной обработки на процесс твердения цементного бетона . . . . .	59
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 12. Статистический контроль прочности бетона. . . . .	62
<b>Раздел «НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ» . . . . .</b>	<b>66</b>
<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 13. Определение деформационных свойств, призменной прочности и модуля упругости цементных бетонов . . . . .</b>	<b>66</b>
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 14. Определение прочностных показателей бетона неразрушающим склерометрическим методом контроля . . . . .	72
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 15. Определение прочностных показателей бетона неразрушающим ультразвуковым методом контроля . . . . .	77
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 16. Исследование теплопроводности бетонов. . . . .	83
<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 17. Исследование истираемости бетонов</b>	<b>88</b>
<b>ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 18. Определение относительной стойкости бетонов под воздействием агрессивных сред . . . . .</b>	<b>92</b>
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 19. Исследование термостойкости бетонов. . . . .	95
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 20. Испытание и определение механических свойств арматурной стали . . . . .	98
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 21. Испытание железобетонной балки на изгиб и расчет ее несущей способности . . . . .	104
<b>Раздел «ОСНОВЫ ТЕХНОЛОГИИ МОНОЛИТНЫХ БЕТОНОВ» . . . . .</b>	<b>109</b>
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 22. Изучение влияния времени «транспортирования» бетонной смеси на ее подвижность и прочность бетона . . . . .	109
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 23. Изучение влияния сухого и жаркого климата на прочность бетона при сжатии . . . . .	113
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 24. Исследование твердения бетона в зимних условиях и влияния противоморозных добавок на кинетику набора прочности бетона . . . . .	115
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ. Значение коэффициента теплопроводности строительных материалов . . . . .</b>	<b>119</b>
<b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК. . . . .</b>	<b>122</b>
<b>ОГЛАВЛЕНИЕ . . . . .</b>	<b>124</b>

*Учебное издание*  
**Перцев Виктор Тихонович,**  
**Козодаев Сергей Петрович,**  
**Ткаченко Татьяна Федоровна,**  
**Усачев Сергей Михайлович**

## **ТЕХНОЛОГИЯ БЕТОНА, СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ**

*Учебное пособие*

для студентов очной и заочной форм обучения  
направления 08.03.01 «Строительство» профиль «Производство  
и применение строительных материалов, изделий и конструкций»  
и студентов очной формы обучения направления  
22.03.01 «Материаловедение и технологии материалов»  
профиль «Перспективные технологии и экспертиза качества строительных  
материалов»

В авторской редакции

Подписано в печать 10.12.2021.  
Формат 60 × 84 1/16. Бумага писчая.  
Усл.-печ. л. 8,0. Уч.-изд. л. 7,9 . Тираж 100 экз. Заказ № .

---

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»  
394026 Воронеж, Московский проспект, 14  
Участок оперативной полиграфии издательства ВГТУ  
394026 Воронеж, Московский проспект, 14