

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Емельянов Сергей Геннадьевич  
Должность: ректор  
Дата подписания: 19.09.2024 09:47:38  
Уникальный программный ключ:  
9ba7d3e34c012eba476ffd2d064cf2781953be730df2374d16f3c0ce536f0fc6

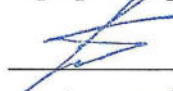
## МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра уникальных зданий и сооружений

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

  
« 18 » 09



### Испытания железобетонных конструкций и материалов для их изготовления

Методические указания по выполнению лабораторных работ  
по дисциплине  
«Железобетонные и каменные конструкции (общий курс)»  
для студентов специальности 08.05.01

Курск 2024

УДК 624.012.44

Составители: А.Г. Колесников, И.А. Спасских

Рецензент

Кандидат технических наук *Е.В. Осовских*

**Испытания железобетонных конструкций и материалов для их изготовления:** методические указания к выполнению лабораторных работ / Юго-Зап. гос. ун-т; А.Г. Колесников, И.А. Спасских. - Курск, 2024. - 44 с. - Библиогр.: С. 38.

В методических указаниях приведены лабораторные работы, предназначенные для освоения студентами основных методов испытания железобетонных и каменных конструкций, а также обработки полученных результатов. Изложенный материал будет способствовать формированию у студентов профессиональных компетенций и навыков их реализации в практической деятельности, освоению знаний и умений, необходимых выпускнику при проектировании и возведении железобетонных и каменных конструкций.

Методические указания предназначены для проведения лабораторных занятий по дисциплине «Железобетонные и каменные конструкции (общий курс)» для студентов специальности 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений».

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать *18.04.24*. Формат 60x84 1/16.  
Усл. печ. л. 2,56. Уч.-изд.л. 2,32. Тираж 100 экз. Заказ. *648* Бесплатно.  
Юго-Западный государственный университет.  
305040, г. Курск, ул. 50лет Октября, 94.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
Лабораторная работа 1. Тяжелые бетоны.....	4
Лабораторная работа 2. Мелкозернистые бетоны.....	17
Лабораторная работа 3. Легкие бетоны.....	22
Лабораторная работа 4. Определение прочностных и деформационных характеристик бетона.....	30
Лабораторная работа 5. Испытание бетонных образцов на изгиб и сжатие.....	35
Библиографический список.....	38
Приложение А.....	39
Приложение Б.....	43

## **Введение**

Испытание строительных конструкций и сооружений имеют большое значение для развития строительной науки и техники. Результаты испытаний дают возможность проверить надежность принятых методов расчета и конструирования, а также правильность технологии изготовления элементов конструкций и сооружений. Испытания имеют особое значение для железобетонных конструкций, теория сопротивления которых строится на опытных данных и исходит из действительного напряженно-деформированного состояния конструкций под нагрузкой.

Настоящие методические указания призваны ознакомить студентов с основами испытаний железобетонных конструкций, оценкой прочности и жесткости, методами расчетов железобетонных изгибаемых элементов.

Методическими указаниями предусмотрено выполнение лабораторных испытаний железобетонных конструкций с целью определения несущей способности и изучения напряженно-деформированного состояния.

### **Лабораторная работа 1. Тяжелые бетоны**

Цель работы – научиться проектировать состав тяжелого бетона, определять удобоукладываемость бетонных смесей, среднюю плотность бетонных смесей и бетонов, определять кубиковую прочность на сжатие.

#### **Проектирование состава тяжелого бетона**

На первом этапе студентам требуется определить свойства сырьевых материалов (цемент, песок и щебень), которые будут использованы для приготовления бетонных смесей, необходимых для проведения расчетов. К таким свойствам относятся: для песка – модуль крупности, истинная плотность, насыпная плотность (приложение А), для щебня — наибольший размер зерен, а также насыпная и истинная плотности, пустотность (приложение Б), для цемента — истинная и насыпная плотность, активность (приложение В). Кроме того, на основании анализа требований ГОСТ 26633-2015 к сырьевым материалам необходимо установить их пригодность для изготовления бетонов.

После определения необходимых характеристик материалов, приступают к проектированию бетонной смеси. Определяют требуемые характеристики бетонной смеси:

- прочность  $R_b$  будущего бетона на сжатие;
- класс бетона по удобоукладываемости: жесткость – Ж (с); осадка конуса – ОК (см) ; растекаемость (см).

Жесткость бетонной смеси оценивают временем вибрации (в секундах), необходимым для выравнивания и появления цементного теста в отверстиях прибора по методам Вебе и Красного или по выравниванию поверхности бетонной смеси по методу Скрамтаева.

Подвижность бетонной смеси оценивают в см по осадке конуса (ОК) или расплыву конуса (РК), отформованного из данной бетонной смеси. Если осадка конуса равна нулю, то удобоукладываемость бетонной смеси оценивают жесткостью.

Растекаемость бетонной смеси в см оценивают по величине расплыва конуса на встряхивающем столике.

Таблица 1.1 - Марка бетонной смеси по расплыву конуса

Марка	Расплыв конуса, см
P1	Не более 35
P2	35-41
P3	42-48
P4	49-55
P5	56-62
P6	Более 62

Таблица 1.2 - Марка бетонной смеси по осадке конуса

Марка	Осадка конуса, см
П1	1-4
П2	5-9

П3	10-14
П4	15-19
П5	20 и более

Таблица 1.3 - Марка бетонной смеси по жесткости

Марка	Жесткость, с
Ж1	5-10
Ж2	11-20
Ж3	21-30
Ж4	31-50
Ж5	51 и более

Первоочередной расчет – определение водоцементного отношения по формуле:

$$\frac{В}{Ц} = \frac{А \cdot R_{ц}}{R_{б} + 0,5 \cdot А \cdot R_{ц}} \quad (1.1)$$

Где

В – содержание воды в долях;

Ц – содержание цемента в долях;

А – коэффициент, зависящий от качества материалов.

Принимается по таблице 1.4. Для бетонов с В/Ц < 0,4, коэффициент А меняется на А1;

$R_{ц}$  – активность цемента (МПа);

$R_{б}$  – прочность на сжатие проектируемого бетона (МПа);

Таблица 1.4 - Коэффициенты качества материалов

Качество материалов	А	А1
Высококачественные	0,65	0,43
Рядовые	0,60	0,40

Пониженного качества	0,55	–
----------------------	------	---

К высококачественным материалам относят цементы с большой активностью, крупный песок (песок рядового качества имеет модуль крупности  $M_k \approx 2$ ), прочный крупный заполнитель, к материалам пониженного качества – мелкий песок, песок с большим содержанием пылевидных и глинистых частиц, цемент с низкой активностью.

Следующим этапом работы идет определение ориентировочного кол-ва воды, необходимого для затворения 1 м<sup>3</sup> бетонной смеси (см. таблицу 1.5)

Таблица 1.5 - Расход воды при приготовлении бетонной смеси

Марка по удобоукладываемости	Жесткость, с	Подвижность, см	Расход воды(л/м <sup>3</sup> ), при крупности заполнителя							
			гравия				щебня			
			10	20	40	70	10	20	40	70
Ж5	>50		140	125	115	110	150	140	125	120
Ж4	31-50		150	135	125	120	150	150	135	130
Ж3	21-30		160	145	130	125	170	160	145	140
Ж2	11-20		165	150	135	130	175	170	150	155
Ж1	5-10		175	160	145	140	185	175	160	165
П1	<5	1-4	190	175	160	155	200	190	175	170
П2		5-9	200	185	170	165	210	200	185	180
П3		10-15	215	200	190	180	225	215	200	190
П4		16-20	225	220	205	190	235	230	215	200
П5		>20	235	230	220	220	245	240	225	210

Примечание:

1 В табл. 6 приведены значения расхода воды для смесей на цементе с нормальной плотностью теста 26–28 % и песка с  $M_{кр} = 2$ .

2 При изменении нормальной плотности на каждый процент в меньшую сторону расход воды следует уменьшить, в большую – увеличивать на 3–5 л/м<sup>3</sup>. В случае изменения модуля крупности песка в меньшую сторону на каждые 0,5 его значения необходимо увеличить, а в большую сторону – уменьшить расход воды на 3–5 л/м<sup>3</sup>. При расходе цемента свыше 400 кг/м<sup>3</sup> расход воды необходимо увеличить на 10 л на каждые 100 кг цемента.

3 Подбор состава литой бетонной смеси с маркой по удобоукладываемости P1 и выше осуществляют только с пластифицирующими добавками в два этапа: 1) рассчитывается малоподвижная бетонная смесь; 2) рассчитывается расход добавки.

Определяют количество цемента в кг для затворения 1 м<sup>3</sup> бетона:

$$Ц = \frac{В}{В/Ц}. \quad (1.2)$$

При этом, существуют нормы минимума расхода цемента (таблица 1.7), при несоблюдении которых, содержание цемента увеличивается до выполнения минимального значения.

Таблица 1.7 - Минимальный расход цемента для получения не расслаиваемой бетонной смеси

Вид смеси	Наибольшая крупность заполнителя, мм			
	10	20	40	70
Особо жесткая (Ж>20с)	160	150	140	130
Жесткая (Ж = 10-20 с)	180	160	150	140
Малоподвижная (Ж = 5-10 с)	200	180	160	150
Подвижная (ОК = 1-10 см)	220	200	180	160
Очень подвижная (ОК = 10-16 см)	240	220	200	180
Литая (ОК>16 см)	250	230	210	190

Определяют количество крупного заполнителя по формуле:



$$\text{Щ} = \frac{1}{\frac{1}{\rho_{\text{Щ}}^{\text{а}}} + \alpha \frac{V_{\text{пуст}}}{\rho_{\text{Щ}}^{\text{н}}}} \quad (1.3)$$

$V_{\text{пуст}}$  – пустотность щебня в долях единицы;

$\rho_{\text{Щ}}^{\text{а}}$  – истинная плотность щебня;

$\rho_{\text{Щ}}^{\text{н}}$  – насыпная плотность щебня;

$\alpha$  – коэффициент раздвижки зерен (таблица 1.8)

Таблица 1.8 - Значение коэффициента  $\alpha$  для пластичных бетонных смесей

Расход цемента, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент $\alpha$ при В/Ц, равен				
	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:

1 Для жестких бетонных смесей  $\alpha = 1,05 \dots 1,15$ .

После определения расхода крупного заполнителя, вычисляют расход песка:

$$\text{П} = \left[ 1 - \left( \frac{\text{Ц}}{\rho_{\text{Ц}}^{\text{а}}} + \frac{\text{В}}{\rho_{\text{В}}} + \frac{\text{Щ}}{\rho_{\text{Щ}}^{\text{а}}} \right) \right] \rho_{\text{П}}^{\text{а}} \quad (1.4)$$

$\rho_{\text{Ц/П/Щ}}^{\text{а}}$  – истинная плотность цемента, песка, щебня соответственно;

$\rho_{\text{В}}$  – плотность воды.

После определения содержания каждого компонента в 1 м<sup>3</sup>, вычисляют необходимый объем для заполнения форм с небольшим запасом ( $\approx 10\%$ ) и определяют необходимое количество каждого компонента для подобранного объёма и строят таблицу 1.9.

Таблица 1.9 - Расход материалов на пробный замес

Материалы	Расчетный состав, кг		Требуемая удобоукладываемость	1 коррективная		Фактическая удобоукладываемость	Уточненный расход материалов на 1 м <sup>3</sup> бетона
	На 1 м <sup>3</sup>	На пробный замес		Добавлено материалов	Кол-во материалов после добавления		
Цемент							
Вода							
Щебень							
Песок							
Итого:							

### Приготовление бетонной смеси

Приготовление бетонной смеси проводится в лабораторном бетоносмесителе. Допускается приготовление бетонной смеси производить вручную в следующей последовательности: в смоченный водой металлический противень помещают отвешенное количество песка, затем добавляют требуемое количество цемента и смесь перемешивают до получения однородного цвета, затем добавляют крупный заполнитель, и вся смесь перемешивается до тех пор, пока крупный заполнитель не будет равномерно распределен в сухой смеси. Для добавления воды в середине смеси делается углубление, куда заливают примерно половину объема воды. Осторожно перемешав, бетонную смесь собирают в кучу и добавляют остальную воду. Затем бетонная смесь подвергается окончательному перемешиванию до однородности. Общее время перемешивания 5 мин.

Допускается на основе визуального контроля удобоукладываемости и структуры бетонной смеси вносить изменения в количество отдозированной воды.

### Определение удобоукладываемости бетонной смеси

Для экспериментальной проверки состава бетона после приготовления бетонной смеси определяют ее удобоукладываемость. Вследствие особенностей свойств применяемого цемента и мелкого заполнителя осадка конуса или жесткость бетонной смеси может отличаться от заданной. Определение удобоукладываемости начинают не ранее 15 мин после начала перемешивания смеси с водой.

### Определение осадки конуса и расплыва бетонной смеси

Определение осадки конуса бетонной смеси выполняют в следующей последовательности. Конус, предварительно очищенный от схватившегося бетона и протертый влажной тканью, устанавливают на поддон или любую плоскую горизонтальную поверхность, не впитывающую влагу. Затем через воронку (насадку) конус заполняют тремя равными по высоте слоями бетонной смеси. Бетонные смеси марок П1, П2 и П3 каждый слой штыкуют 25 раз металлическим стержнем диаметром 16 мм и длиной 600 мм с округленными концами (в увеличенном конусе 56 раз). Во время штыкования бетонной смеси конус должен быть плотно прижат к основанию. Бетонной смесью марок П4 и П5 конус заполняют в один прием и штыкуют в нормальном конусе 10 раз в увеличенном – 20 раз. После укладки и штыкования последнего слоя воронку снимают и избыток бетонной смеси срезают кельмой вровень с краями конуса. Время от начала заполнения конуса до его снятия не должно превышать 3 мин. Затем конус строго вертикально снимают и осторожно ставят рядом с осевшим конусом из бетонной смеси. Время затрачиваемое на подъём конуса должно составлять 5-7 с. С помощью двух линеек измеряют расстояние между верхним образцом формы и серединой верхнего основания конуса из бетонной смеси (рис. 1)

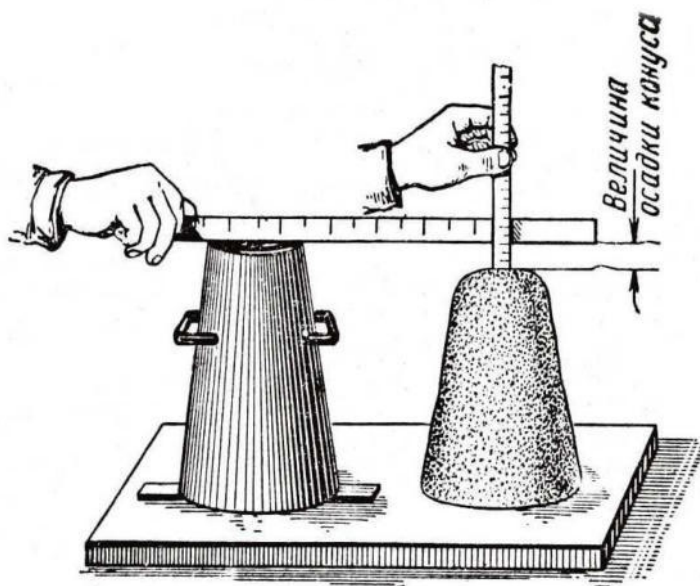


Рисунок 1.1 - Определение величины осадки конуса

При проектировании более подвижных смесей (Р1-Р6), удобоукладываемость определяют по расплыву конуса в его основании. Измерения производятся в двух перпендикулярных направлениях с погрешностью не более 0,5 см.

После определения величины осадки (или расплыва конуса), её округляют до 1 см, определяют фактическую удобоукладываемость по таблицам 1.1, 1.2, 1.3 (в зависимости от подвижности смеси) и заносят в таблицу 1.9.

#### Определение жесткости бетонной смеси

При проектировании бетонной смеси с низкой или нулевой подвижностью, удобоукладываемость разделяется на группы Ж1-Ж5 и определяется на основе испытаний на жесткость.

Рассмотрим определение жесткости на приборе Вебе.

Прибор Вебе (Рис. 1.2) собирают и закрепляют на виброплощадке. Перед испытанием кольцо и конус должны быть очищены от схватившегося бетона и протерты влажной тканью. Заполнение конуса прибора бетонной смесью, уплотнение смеси и снятие с отформованной смеси конуса проводят как для смесей марок П1 - П3. Поворотом штатива 5 диск 8 устанавливают над отформованным конусом бетонной смеси и плавно опускают его до соприкосновения с поверхностью бетонной смеси. Включают

виброплощадку и секундомер и наблюдают за выравниванием бетонной смеси. Смесь вибрируют до тех пор, пока не начнется выделение цементного теста из любых двух отверстий диска 8. В этот момент выключают секундомер и вибратор. Время, измеренное в секундах, характеризует жесткость бетонной смеси.

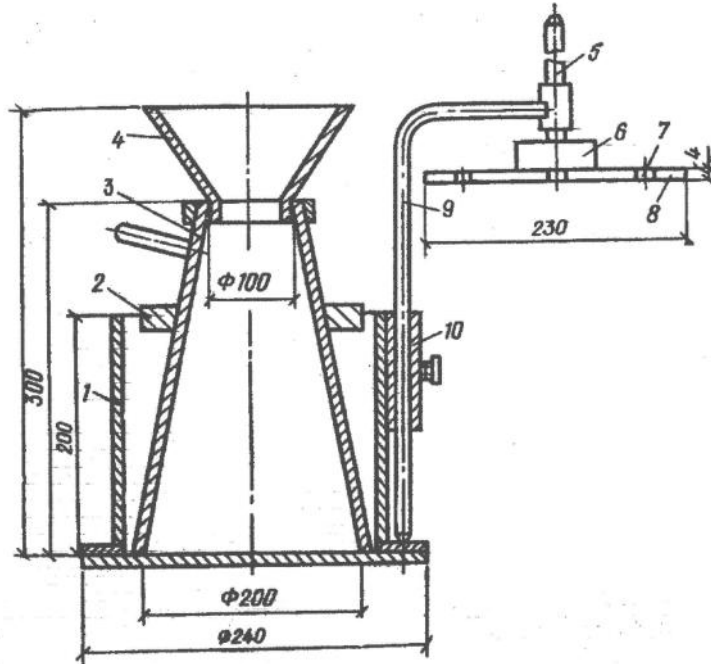


Рисунок 1.2 - Прибор Вебе. 1 – цилиндр с фланцем в основании; 2 – ручка; 3 – конус; 4 – загрузочная воронка; 5 – штанга; 6 – стальная шайба ; 7 – отверстие; 8 – диск с шестью отверстиями; 9 – штатив; 10 – фиксирующая втулка

Определение фактической средней плотности бетонной смеси  
Среднюю плотность бетонной смеси, характеризующую отношением массы уплотненной бетонной смеси к её объему, определяют в цилиндрическом мерном сосуде ёмкостью 1, 5 или 10 литров (в зависимости от максимальной крупности заполнителя соответственно 20, 40 и 70 мм).

В предварительно взвешенный сосуд загружают бетонную смесь и тщательно уплотняют вибрированием до появления на её поверхности цементного молока. После уплотнения избыток смеси срезают стальной линейкой и поверхность тщательно выравнивают ровень с краями мерного сосуда. Затем сосуд с бетонной смесью взвешивают и плотность бетонной смеси вычисляют по формуле:

$$\rho_{\text{б.см.}}^{\phi} = \frac{m - m_1}{V}, \quad (1.5)$$

где  $m_1$  – масса пустого сосуда;

$m$  – масса сосуда, наполненного смесью;

$V$  – объем сосуда.

Опыт проводят 2 раза с разницей в значениях не более 5 кг/м<sup>3</sup>.

Результаты определения плотности заносят в таблицу 1.10.

Таблица 1.10 - Результаты определения плотности бетонной смеси

№ опыта	Масса пустого цилиндра $m_1$ , кг	Масса цилиндра с уплотненной смесью, $m$ , кг	Объем цилиндра $V$ , м <sup>3</sup>	Плотность бетонной смеси, кг/м <sup>3</sup>	Средняя плотность бетонной смеси, кг/м <sup>3</sup>
1					
2					

#### Изготовление и хранение образцов

Из откорректированной бетонной смеси готовят контрольные образцы и затем их испытывают. Образцы формируют в металлических разъемных формах.

Уплотнение бетонной смеси марок по удобоукладываемости П4 и П5 проводят вручную с применением штыковки. Формы заполняют бетонной смесью слоями высотой не более 100 мм. Каждый слой уплотняют штыкованием стальным стержнем диаметром 16 мм с закругленным концом. Число нажимов 10, для образцов с ребром 100 мм, и 25 нажимов, для образцов с ребром 150 мм. Штыкование проводят равномерно по спирали от краев формы к ее середине. Бетонную смесь марки П3 и ниже уплотняют с использованием виброплощадки.

При уплотнении бетонной смеси марок по удобоукладываемости П1, П2, П3, Ж1 форму с уложенной и уплотненной штыкованием бетонной смесью жестко закрепляют на лабораторной виброплощадке и вибрируют до полного уплотнения, характеризуемого прекращением оседания бетонной смеси,

выравниванием ее поверхности, появлением на ней тонкого слоя цементного теста.

При уплотнении бетонной смеси марок по удобоукладываемости Ж2, Ж3, Ж4, Ж5 на форме закрепляют насадку, устанавливают на поверхность бетонной смеси пригруз, обеспечивающий давление  $(0,004 \pm 0,0005)$  МПа, и вибрируют до прекращения оседания пригруза и дополнительно 5 – 10 с.

Избыток смеси срезают и заглаживают поверхность образца кельмой. Образцы маркируют.

Изготовленные образцы накрывают влажной тканью и хранят в формах в помещении с температурой воздуха  $20 \pm 2$  °С в течении суток, после чего их освобождают из форм и помещают в камеру нормального твердения, где хранят до испытания (28 дней) при температуре  $20 \pm 2$  °С и относительной влажности воздуха не менее 90 %.

Определение фактического расхода материалов на 1 м<sup>3</sup> бетона.

Определяют фактический объем бетонной смеси в пробном замесе по формуле:

$$V_{\text{факт}} = \frac{\sum m}{\rho_{\text{б.см.}}^{\phi}}, \quad (1.6)$$

где:

$\sum m$  – сумма масс материалов, израсходованных на пробный замес, кг.

$\rho_{\text{б.см.}}^{\phi}$  – фактическая плотность бетонной смеси.

Зная объем полученной бетонной смеси и расход материалов на пробный замес, определяют фактический расход материалов на 1 м<sup>3</sup> бетона по формулам:

$$Ц_{\phi} = \frac{Ц_{\text{пр}}}{V_{\text{факт}}} * 1000, \quad (1.7)$$

$$П_{\phi} = \frac{П_{\text{пр}}}{V_{\text{факт}}} * 1000, \quad (1.8)$$

$$Щ_{\phi} = \frac{Щ_{\text{пр}}}{V_{\text{факт}}} * 1000, \quad (1.9)$$

$$В_{\phi} = \frac{В_{\text{пр}}}{V_{\text{факт}}} * 1000, \quad (1.10)$$

где  $X_{\text{пр}}$  – практический расход материала «X» на пробный замес(кг/л);

$V_{\text{факт}}$  – фактический объем смеси.

### Испытание бетона

Перед испытанием образцы подвергают осмотру, измерению и взвешивают. При осмотре необходимо определить рабочие грани, которые выбирают так, чтобы сжимающая сила при испытании была направлена параллельно слоям укладки бетонной смеси.

#### Определение средней плотности бетона

Средняя плотность бетона:

$$\rho_b = \frac{m}{V}. \quad (1.11)$$

Определение средней прочности на сжатие

Для испытания на сжатие образцы-кубы центрируют на испытательной установке выбранной гранью и испытывают на сжатие до полного разрушения, постепенно повышая нагрузку. Разрушение должно произойти примерно через 30 с, после начала испытаний. Прочность на сжатие определяется по формуле:

$$R_{\text{сж}} = \alpha * \frac{P}{F}, \quad (1.12)$$

где

$\alpha$  – масштабный коэффициент, приводящий размеры образца к стандартному кубу (таблица 1.11);

$R_{\text{сж}}$  – разрушающая нагрузка;

$F$  – площадь поперечного сечения образца.

Таблица 1.11 - Масштабный коэффициент

Размеры образцов, см	Масштабный коэффициент
100 x 100 x 100	0,95
150 x 150 x 150	1,00
200 x 200 x 200	1,05

Результаты различных образцов не должны отличаться более, чем на 15%.

Фактическую прочность образцов определяют по серии образцов, как среднее геометрическое серии испытаний.



$$R_{\text{ср}} = \frac{\sum_{j=1}^m R_j}{m}, \quad (1.13)$$

где

$m$  – кол-во образцов в серии,

$j$  – номер образца в серии.

Расчет выполняют:

- в серии из двух образцов – по двум образцам;
- в серии из трех образцов – по двум наибольшим по прочности образцам;
- в серии из четырех образцов – по трем наибольшим по прочности образцам;
- в серии из шести образцов – по четырем наибольшим по прочности образцам.

Результаты испытаний образцов заносят в таблицу 1.12.

Таблица 1.12 - Результаты испытания контрольных образцов

№ образца	Размеры образца, см		Площадь поперечного сечения, см <sup>2</sup>	Разрушающая нагрузка, Н (кгс)	Предел прочности, МПа	
	длина	ширина			Отдельных образцов	Средний
1.						
2.						
...						

Определяем фактический класс бетона по средней кубиковой прочности при сжатии по формуле 1.14. Формула справедлива при числе образцов  $\leq 6$ .

$$V_{\text{ф}} = 0,8 \times R_{\text{ср}}. \quad (1.14)$$

Фактический класс бетона по прочности при сжатии сравнивают с заданием на расчет и делают вывод о соответствии требуемому классу. При необходимости делают расчет дополнительных составов бетона, направленных на получение бетона заданной прочности при наименьшем расходе цемента.

Определение коэффициента выхода бетонной смеси

При загрузке цемента и заполнителя в бетоносмеситель их первоначальный объем больше объема получаемой бетонной смеси, так как при перемешивании происходит как бы уплотнение массы, зерна цемента располагаются в пустотах между зернами песка, зерна песка – между зернами щебня. Коэффициент выхода бетонной смеси зависит от состава бетона и свойств используемых материалов и колеблется в пределах 0,55 – 0,75.

Для оценки объема получаемой бетонной смеси используют коэффициент выхода бетона  $\beta$ , определяемый по формуле:

$$\beta = \frac{1000}{V_{\text{ц}} + V_{\text{п}} + V_{\text{щ}}} = \frac{1000}{\frac{\text{Ц}_{\text{ф}}}{\rho_{\text{ц}}^{\text{н}}} + \frac{\text{П}_{\text{ф}}}{\rho_{\text{п}}^{\text{н}}} + \frac{\text{Щ}_{\text{ф}}}{\rho_{\text{щ}}^{\text{н}}}}. \quad (1.15)$$

где

$V_x$  – расход соответствующего материала л/м<sup>3</sup>;

$\text{Ц}_{\text{ф}}$ ,  $\text{П}_{\text{ф}}$ ,  $\text{Щ}_{\text{ф}}$  – расход цемента, песка, щебня кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_x^{\text{н}}$  – насыпная плотность соответствующего материала кг/м<sup>3</sup>.

### Заключение

В результате проведенных испытаний свойств бетонной смеси и затвердевшего бетона необходимо сделать выводы:

- соответствует ли марка полученной бетонной смеси по удобоукладываемости заданной для нее в исходных данных, если этого нет, необходимо назвать причины, приведшие к такой ситуации (низкое качество вяжущего и заполнителей, нарушение норм технологических этапов изготовления бетонной смеси и др.). Об этих и других нарушениях может говорить низкая величина коэффициента уплотнения бетонной смеси;

- соответствует ли полученная прочность бетона заданной. В этом случае надо идти по цепочке: свойства бетонной смеси, технология формования образцов, условия их хранения и испытания. Обратит внимание на наличие дефектных схем разрушений образцов.

Выводы должны заканчиваться конкретными мероприятиями, которые приведут к соответствию характеристик бетонной смеси и затвердевшего бетона заданным для той конструкции, которая предложена в задании.

## Лабораторная работа 2. Мелкозернистые бетоны

Для изготовления тонкостенных железобетонных конструкций применяют мелкозернистый бетон, не содержащий щебня. Армируя этот бетон стальными ткаными сетками, получают армоцемент – высокопрочный материал для тонкостенных конструкций. Мелкозернистый бетон может быть использован для изготовления железобетонных конструкций в районах, где отсутствуют щебень и гравийно-песчаная смесь.

Целью настоящей лабораторной работы является освоение методов проектирования состава мелкозернистого бетона, испытания бетонной смеси и бетона.

### Проектирование состава мелкозернистого бетона

Наиболее просто и точно состав мелкозернистого бетона определяют расчетно-экспериментальным путем. Вначале на основе определенных зависимостей рассчитывают предварительный состав бетона, обеспечивающий получение прочности мелкозернистого бетона из смеси заданной подвижности. Рассчитанный состав проверяют путем пробных замесов и корректируют в случае необходимости.

Состав мелкозернистого бетона рассчитывают в следующем порядке.

1. Определяют водоцементное отношение, необходимое для получения заданной

прочности бетона, по формуле 2.1:

$$\frac{B}{C} = \frac{A \cdot R_{ц}}{R_{б} + 0,8 \cdot A \cdot R_{ц}}, \quad (2.1)$$

где:

$A$  – коэффициент, равный 0,8 для высококачественных материалов, 0,75 – для материалов среднего качества и 0,65 – для цемента низких марок и мелкого песка;

$R_{ц}$  – активность цемента, МПа;

$R_{б}$  – прочность проектируемого бетона, МПа.

Определить соотношение, между цементом и песком, используя таблицу 2.1, в зависимости от заданной удобоукладываемости и водоцементного отношения.

Таблица 2.1. Определение соотношения между песком и цементом (П/Ц)

Удобоукладываемость		Соотношение между песком и цементом		
ОК, см	Ж, с	В/Ц = 0,4	В/Ц = 0,5	В/Ц = 0,6
10-14	-	1,4	2,6	3,6
5-9	-	1,6	2,7	3,8
1-4	-	1,8	2,9	4,0
-	5-10	2,2	3,3	4,4
-	11-20	2,7	3,7	4,8

Примечание: таблица 2.1 применима только при модуле крупности песка 2,5. При иных соотношениях, следует корректировать отношение по графику на рисунке 2.1.

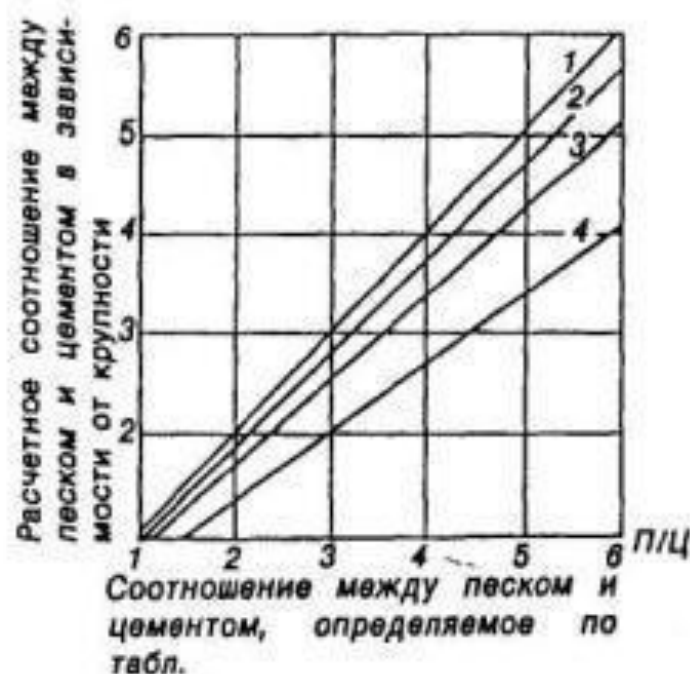


Рисунок 2.1 - Корректировка соотношения П/Ц при модуле крупности: 1 – 2,5; 2 – 2,0; 3 – 1,5; 4 – 1,0.

Рассчитывают расход цемента на 1 м<sup>3</sup> по формуле 2.2

$$Ц = \frac{1}{\frac{1}{\rho_{ц}} + \frac{В/Ц}{\rho_{в}} + \frac{П/Ц}{\rho_{п}}} \quad (2.2)$$

Где  $\rho_{ц}$ ,  $\rho_{в}$ ,  $\rho_{п}$  – истинные плотности цемента, воды, песка, кг/м<sup>3</sup>.

Затем рассчитывается расход воды:

$$В = Ц \times \frac{В}{Ц} \quad (2.3)$$

И песка:

$$П = Ц * \frac{П}{Ц} \quad (2.4)$$

Масса каждого элемента для пробного замеса считается по формуле:

$$m_i = M_i * V * 1,1, \quad (2.5)$$

$m_i$  – масса вещества для пробного замеса, кг;

$M_i$  – масса вещества на 1 м<sup>3</sup>, кг;

$V$  – объем пробного замеса, м<sup>3</sup>.

### Определение свойств мелкозернистых бетонных смесей

Удобоукладываемость мелкозернистой бетонной смеси выполняют аналогично с определением удобоукладываемости тяжелого бетона.

### Определение физико-механических свойств мелкозернистого бетона

Средняя плотность бетона вычисляется по формуле:

$$\rho_{б} = \frac{m}{V} \quad (2.6)$$

### Определение средней прочности на сжатие

Для испытания на сжатие образцы-кубы центрируют на испытательной установке выбранной гранью и испытывают на сжатие до полного разрушения, постепенно повышая нагрузку. Разрушение должно произойти примерно через 30с, после начала испытаний. Прочность на сжатие определяется по формуле:

$$R_{сж} = \alpha \times \frac{P}{F}, \quad (2.7)$$

$\alpha$  – масштабный коэффициент, приводящий размеры образца к стандартному кубу (таблица 2.2);

$R_{сж}$  – разрушающая нагрузка;

$F$  – площадь поперечного сечения образца.

Таблица 2.2 - Масштабный коэффициент

Размеры образцов, см	Масштабный коэффициент
100 x 100 x 100	0,95
150 x 150 x 150	1,00
200 x 200 x 200	1,05

Результаты различных образцов не должны отличаться более, чем на 15%.

Фактическую прочность образцов определяют по серии образцов, как среднее значение серии испытаний.

$$R_{ср} = \frac{\sum_{j=1}^m R_j}{m}, \quad (2.8)$$

$m$  – кол-во образцов в серии.

$j$  – номер образца в серии.

Расчет выполняют:

- в серии из двух образцов – по двум образцам;
- в серии из трех образцов – по двум наибольшим по прочности образцам;
- в серии из четырех образцов – по трем наибольшим по прочности образцам;
- в серии из шести образцов – по четырем наибольшим по прочности образцам.

Результаты испытаний образцов заносят в таблицу 2.3.

Таблица 2.3 - Результаты испытания контрольных образцов

№ образца	Размеры образца, см		Площадь поперечного сечения, см <sup>2</sup>	Разрушающая нагрузка, Н (кгс)	Предел прочности, МПа	
	длина	ширина			Отдельных образцов	Средний

1.						
2.						
...						

Определяем фактический класс бетона по средней кубиковой прочности при сжатии по формуле 2.9. Формула справедлива при числе образцов  $\leq 6$ .

$$B_{\phi} = 0,8 \times R_{cp}. \quad (2.9)$$

Фактический класс бетона по прочности при сжатии сравнивают с заданием на расчет и делают вывод о соответствии требуемому классу. При необходимости делают расчет дополнительных составов бетона, направленных на получение бетона заданной прочности при наименьшем расходе цемента.

### **Лабораторная работа 3. Легкие бетоны**

Цель и задачи работы: научиться проектировать состав легкого цементного бетона на пористых заполнителях для изготовления конструкционных и конструкционно-теплоизоляционных изделий для промышленного, гражданского и сельскохозяйственного назначения.

Для выполнения лабораторной работы преподаватель выдает каждой бригаде задание на проектирование состава легкого конструкционного бетона, которое включает: класс бетона прочности В12,5...В40, марку по плотности D1100...D2000, а также марку бетонной смеси по удобоукладываемости, вид крупного пористого заполнителя. В качестве мелкого заполнителя используется строительный песок.

#### Теоретические сведения

К легким бетонам относятся бетоны с плотностью менее 1800кг/м<sup>3</sup>.

По назначению легкие бетоны подразделяются на:

- конструкционные плотностью 1401 – 1800 кг/м<sup>3</sup> с прочностью на сжатие 15 – 50 МПа, чаще всего используются для изготовления легких несущих железобетонных конструкций (пролетные строения мостов, фермы, гидротехнические сооружения, элементы перекрытий и покрытий зданий);

- конструкционно-теплоизоляционные плотностью 500 – 1400 кг/м<sup>3</sup> с прочностью 2,5 – 10 МПа, являющейся основным материалом ограждающих конструкций зданий;

- теплоизоляционные и акустические плотностью до 500 кг/м<sup>3</sup>, широко применяемые в слоистых конструкциях как утеплитель и звукопоглощающий материал. Прочность такого бетона редко бывает более 1,5 МПа.

По структуре различают:

- плотные, или обычные легкие бетоны, в которых раствор на тяжелом или легком песке полностью заполняет межзерновые пустоты крупного заполнителя (обычно с некоторой раздвижкой зерен);

- поризованные легкие бетоны, в которых растворную часть вспучивают с помощью пен или газообразующих добавок;

- крупнопористые легкие бетоны, в которых не содержится песок и сохраняются межзерновые пустоты.

Легкие бетоны имеют ряд специфических особенностей по сравнению с тяжелыми бетонами.

Прочность легких бетонов, как и тяжелых бетонов, зависит от водоцементного отношения, так как оно определяет свойства цементного камня, соединяющего все составляющие компоненты бетона в единый монолит. Однако пористые заполнители вследствие особенностей своей структуры имеют невысокую прочность, обычно ниже прочности цементного раствора. Введение их в бетон приводит к снижению его прочности по сравнению с обычным тяжелым бетоном на прочных плотных заполнителях, причем тем в большей степени, чем больше содержится заполнителя и меньше его плотность.

Другой важной особенностью легких бетонов на пористых заполнителях является то обстоятельство, что каждый крупный заполнитель позволяет получать бетоны только до определенной прочности, характерной прочности заполнителя, по достижении которой дальнейшее повышение прочности раствора, например, за счет уменьшения водоцементного отношения, не приводит к заметному повышению прочности бетона.

Третьей особенностью легких бетонов является то, что влагообмен между пористым заполнителем и оболочкой из



цементного камня есть саморегулирующаяся система. Высокая пористость заполнителя приводит к влагообмену между сухими пористыми заполнителями в легких бетонах и окружающей их оболочкой из цементного теста – камня. Сначала после затворения происходит миграция воды из растворной части бетона в зерна заполнителя, а через некоторое время – из заполнителя в окружающую оболочку. В дальнейшем эта миграция влаги периодически меняет направление до тех пор, пока в системе не установится равновесное влажностное состояние и равновесие с окружающей средой. Процесс становления равновесной влажности в рассматриваемой системе подчиняется закону маятника.

Четвертой особенностью легкого бетона является повышенное сцепление крупного заполнителя с растворной частью, превышающее сцепление плотного щебня в 1,7 – 2,5 раза. При затворении легкобетонной смеси зерна пористого заполнителя набухают, и поскольку влажностный коэффициент линейного расширения заполнителя будет больше соответствующего значения для цементного раствора, цементный раствор будет обжимать зерна пористого заполнителя, усиливая сцепление и повышая прочность контактной зоны. Кроме того, пористые заполнители обладают более высокой удельной поверхностью, по сравнению с плотными заполнителями, что приводит к улучшению адгезии зерен заполнителя с цементным раствором.

Кроме того, в дополнение к привычным заданным характеристикам (удобоуправляемость смеси, прочность цементного камня), для легкого бетона указывается предполагаемая плотность.

### Проектирование состава легкого бетона

Номинальный состав легкого бетона на пористом заполнителе и плотном песке рассчитывают в следующем порядке.

1. Выбрать вид легкого заполнителя для обеспечения необходимой марки или класса бетона, а также требуемой средней плотности проектируемого бетона.

При выборе легких пористых заполнителей для легких конструктивно-теплоизоляционных и конструктивных плотных бетонов следует руководствоваться данными табл. 3.1, 3.2.

Таблица 3.1 - Зависимость Рекомендуемые соотношения между марками пористого гравия, прочностью и минимальной плотностью легких бетонов (плотной структуры)

Марка пористого гравия по насыпной плотности	Кубиковая прочность на сжатие легкого бетона, Мпа.	Минимальная плотность сухого бетона $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> , в зависимости от вида мелкого заполнителя и его насыпной плотности			
		Перлит, до 450 кг/м <sup>3</sup>	Керамзит, до 700 кг/м <sup>3</sup>	Шлак, до 850 кг/м <sup>3</sup>	Плотные породы, до 1500 кг/м <sup>3</sup>
200	2,5	650	700	850	-
	3,5	700	750	900	-
300	2,5	750	800	950	-
	3,5	800	800	1000	-
	5,0	800	850	1000	-
	7,5	850	900	1050	-
400	3,5	850	900	1100	-
	5,0	900	900	1100	-
	7	950	950	1150	-
	10,0	1000	1000	1150	1400
	15,0	-	-	-	-
500	5,0	1000	1000	1200	-
	7,5	1000	1050	1200	-
	10,0	1050	1100	1200	-
	15,0	-	-	-	1400
600	5,0	1050	1100	1250	-
	7,5	1050	1150	1300	-
	10,0	1100	1200	1300	-
	15,0	-	-	-	1400
	20,0	-	-	-	1400
	25,0	-	-	-	1500
	30,0	-	-	-	1700

Продолжение таблицы 3.1.

Марка пористого гравия по насыпной плотности	Кубиковая прочность на сжатие легкого бетона, Мпа.	Минимальная плотность сухого бетона $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> , в зависимости от вида мелкого заполнителя и его насыпной плотности			
		Перлит, до 450 кг/м <sup>3</sup>	Керамзит, до 700 кг/м <sup>3</sup>	Шлак, до 850 кг/м <sup>3</sup>	Плотные породы, до 1500 кг/м <sup>3</sup>
700	7,5	1100	1200	1350	-
	10,0	1150	1250	-	-
	15,0	-	-	-	1400
	20,0	-	-	-	1400
	25,00	-	-	-	1500
	30,0	-	-	-	1500
800	15,0	-	-	-	1400
	20,0	-	-	-	1400
	25,0	-	-	-	1500
	30,0	-	-	-	1600

2. Определить марку цемента для получения проектируемого класса или марки бетона по таблице 3.2.

Таблица 3.2 - Данные для выбора цементов при проектировании составов легких бетонов плотной и поризованной структуры

Проектируемая марка или класс бетона	Марка цемента	
	Рекомендуемая	Допускаемая
V3,5	300	200, 400
V5,0-V10,0	400	300
V15,0	400	300, 400
V20,0	400	300, 500

3. Назначить расход цемента выбранной марки в зависимости от марки пористого заполнителя (пористый гравий) по таблице 3.3.

Таблица 3.3 - Ориентировочный расход цемента М400 для конструкционно-теплоизоляционных бетонов плотной структуры

Класс бетона	Расход цемента, кг/м <sup>3</sup> , при марке пористого гравия					
	220	300	350-400	350-500	550-600	700
2,5	210-240	180-210	170-200	-	-	-
3,5	210-230	190-210	180-200	170-200	-	-
5,0	-	200-220	190-210	180-210	170-200	-
7,5	-	220-240	200-230	190-220	180-210	170-200
10,0	-	-	240-270	220-240	200-230	190-220

4. Назначенный расход цемента пересчитывается (при необходимости) для цементов иных марок (таблица 3.4). Значения расхода материала умножаются на данный коэффициент.

Таблица 3.4 - Коэффициент изменения расхода цемента в зависимости от его марки

Марка цемента	Расход цемента, кг/м <sup>3</sup> , при классе легкого бетона				
	2,5-5,0	7,5-10,0	15,0-20,0	25,0-30,0	35,0-40,0
200	1,10	1,20	1,25	-	-
300	1,05	1,10	1,20	1,25	-
400	1,00	1,00	1,00	1,17	1,17
500	0,96	0,94	0,90	1,00	1,17
600	-	-	0,86	0,90	1,00

5. Определить расход крупного и мелкого заполнителей в кг на 1 м<sup>3</sup> бетона по формуле (3.1)

$$Z = \rho - 1,15C, \quad (3.1)$$

$\rho$  – требуемая средняя плотность сухого бетона, кг/м<sup>3</sup>.

6. Определить долю песка в смеси заполнителей по таблице 3.5.

Таблица 3.5 - Доля песка

Бетон	Расход цемента, кг/м <sup>3</sup>	Предельная крупность заполнителя, мм	Содержание песка в смеси заполнителей, % от объема при использовании	
			Пористого гравия	Пористого щебня
Тепло-изоляционный	До 175	40	20-25	25-35
		20	25-30	30-40
Конструкционно-тепло-изоляционный	175-250	40	35-45	40-50
		20	40-50	45-55
		10	45-55	50-60
Конструкционный	250-400	20	40-50	45-55
		10	50-60	55-65

7. Определить насыпную плотность смеси заполнителей по формуле 3.2:

$$\rho_{\text{нас.зап}} = \frac{0,9(r\rho_{\text{нп}} + (1-r)\rho_{\text{нкр}})}{1 - V_{\text{пуст}}(1-r)}, \quad (3.2)$$

где

$r$  – содержание песка в смеси заполнителей (в долях),

$\rho_{\text{нас.зап}}$  – насыпная плотность смеси заполнителей,

$\rho_{\text{нп}}$  – насыпная плотность мелкого заполнителя,

$\rho_{\text{нкр}}$  – насыпная плотность крупного заполнителя,

$V_{\text{пуст}}$  – межзерновая пустотность крупного зполнителя.

8. Определить общий расход по объему смеси крупного и мелкого заполнителей по формуле 3.3:

$$V_{\text{зап}} = \frac{3}{\rho_{\text{нас.зап}}}, \quad (3.3)$$

9. Определяют расход песка и крупного заполнителя по формулам (3.4.) и (3.5.):

$$П = V_{\text{зап}} r \rho_{\text{нп}}, \quad (3.4)$$

$$Щ = 3 - П. \quad (3.5)$$

10. Определить содержание воды в проектируемом растворе по таблице 3.6.

Таблица 3.6 - Ориентировочный расход воды для легковесной смеси на сухом керамзитовом гравии (предельной крупностью 20 мм) и песке средней крупности

Осадка конуса, см, или жесткость, с	Расход воды кг/м <sup>3</sup> , для керамзитобетона при насыпной плотности керамзитового гравия, кг/м <sup>3</sup> , на песке					
	Кварцевом			Керамзитовом		
	300	500	700	300	500	700
40-50 с	175- 190	165- 180	165- 170	210- 220	200- 215	180- 190
30-35 с	185- 200	175- 190	165- 180	225- 240	215- 235	190- 205
15-25 с	195- 210	185- 200	175- 190	210- 250	240- 260	205- 225
7-14 с	205- 220	195- 210	185- 200	275- 300	265- 295	230- 250
3-5 см	215- 230	205- 220	195- 210	325- 300	290- 315	255- 280
6-8 см	225- 240	215- 230	205- 220	325- 350	315- 340	270- 305
9-12 см	235- 250	225- 240	215- 230	350- 370	340- 365	295- 330

Примечание: для керамзита размером до 40 мм расход воды следует уменьшить на 15л, для керамзита размером до 10 мм расход воды следует увеличить на 20 л.

11. Определить теоретическую среднюю плотность запроектированного бетона (без усушки) по формуле (3.6):

$$\rho_{\text{теор}} = Ц + П + Щ + В. \quad (3.6)$$

12. Готовится замес объемом 6-7 литров, по методике, аналогичной предыдущим лабораторным работам, измеряется удобоукладываемость, заполняются формы для дальнейшего твердения и испытания на прочность

#### **Лабораторная работа 4. Определение прочностных и деформационных характеристик бетона**

Цель и задачи работы: усвоить сущность и назначение основных механических характеристик бетона; изучить методы определения прочностных и деформативных характеристик бетона, правила обработки результатов испытаний, используемое оборудование и приборы.

В процессе проведения лабораторной работы должны быть определены нормативные и расчетные характеристики бетона, коэффициент вариации, класс бетона и модуль упругости.

#### **Общие понятия о прочностных и деформационных характеристиках бетона**

Кубиковая прочность, полученная в ходе предыдущих работ, путем испытания бетонных кубов, не отражают действительную работу материала в конструкции, поэтому существует понятие – призменная прочность. Призменная прочность – прочность бетона на сжатие при испытании квадратной призмы размерами 10×10×40, 15×15×60 см и другие. При продольном сжатии призмы получают призменную прочность, а также определяют деформационные характеристики бетона, такие как коэффициент Пуассона и модуль упругости. Схема размещения считывающих приборов, установленных на образце приведена на рисунке 4.1.

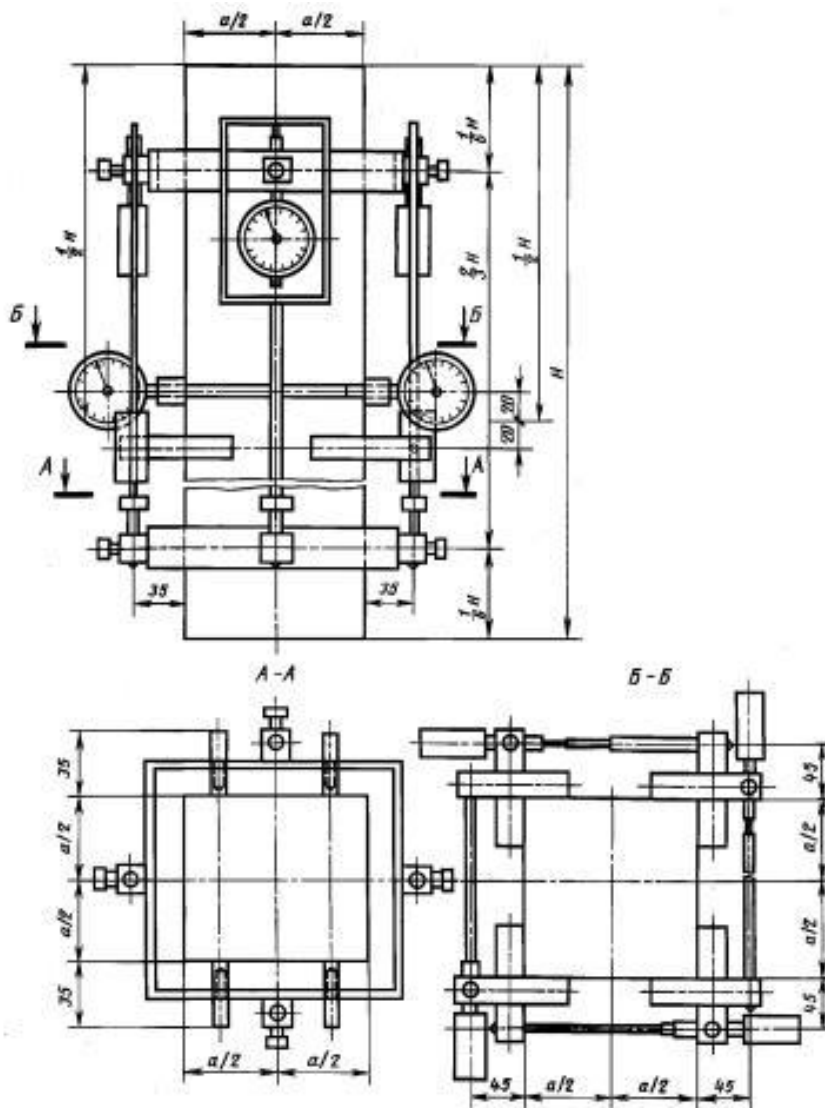


Рисунок 4.1 - Установка датчиков часового типа на образце

### Порядок проведения испытания

Перед испытанием образец с приборами устанавливают центрально по разметке плиты пресса и проверяют совмещение начального отсчета с делением шкалы прибора.

К образцу прикладывают нагрузку. До значения нагрузки 40-45% от ожидаемой разрушающей, нагружение производят ступенями, не превышающими 10%. Нагрузка на каждой ступени выдерживается 4-5 минут и снимаются показания деформаций в начале и в конце выдержки каждой ступени. В ходе определения деформаций образца, разница между средним значением и показанием каждого конкретного прибора не должна быть больше 15%. В противном случае, с образца снимают нагрузку, сдвигают его



в сторону большей нагрузки и повторно проводят испытания. После 5 неудачных попыток центрирования, образец бракуется и до дальнейших испытаний не допускается.

После достижения значения нагрузки 40-45% от ожидаемой, с образца снимаются измерительные приборы и рамки, дальнейшее нагружение идет с постоянной скоростью до полного разрушения образца.

В процессе испытания заполняется журнал отсчетов по приборам (таблица 4.1)

Деформаций фиктивных волокон, полученные в ходе опыта пересчитываются по формулам (4.1) и (4.2).

Таблица 4.1 - Журнал отсчетов по приборам

Номер ступени нагрузки	Время приложения ступени нагрузки	Нагрузка на образец, МПа	Показание приборов при изменениях продольных и поперечных деформаций $\Delta l \cdot 10^3$ мм				Среднее приращение $\Delta l \cdot 10^3$ мм	
			1		n		Продольных деформаций	Поперечных деформаций
			Отсчет	Приращение	Отсчет	Приращение		

Примечание:

n – количество датчиков, установленных на образце.

В рассматриваемой работе их количество равно 4.

$$\Delta_1 = \Delta'_1 + \frac{(\Delta'_2 + \Delta'_1) \cdot c}{2c + a}; \quad (4.1)$$

$$\Delta_2 = \Delta'_1 + \frac{(\Delta'_2 + \Delta'_1) \cdot (a + c)}{2c + a}; \quad (4.2)$$

где

$\Delta_1$  и  $\Delta_2$  – деформации противоположных граней образца;

$\Delta'_1$  и  $\Delta'_2$  – деформации фиктивных противоположных граней (показания противоположных приборов);

a – размер стороны образца;

c – расстояние от грани образца до центра отверстия, в которое устанавливается прибор.

## Обработка результатов

Для каждого образца вычисляют призмennую прочность по формуле 4.3:

$$R_{\text{пр}} = \frac{P_p}{F}; \quad (4.3)$$

где  $P_p$  – разрушающая нагрузка на образец;

$F$  – площадь сечения образца.

Модуль упругости  $E$  вычисляют для каждого образца по формуле 4.4:

$$E = \frac{\sigma_1}{\varepsilon_{1y}}; \quad (4.4)$$

где

$\sigma_1 = P_1/F$  – приращение напряжений на образец от нуля до уровня  $P_1$ , равной 30% от  $P_p$ ;

$\varepsilon_{1y}$  – приращение продольной упругой деформации на ступени нагрузки, соответствующей 30%, вычисляется по формуле 4.6.

В пределах ступени нагружения, деформации вычисляют по линейной интерполяции.

Коэффициент Пуассона определяют по формуле 4.5:

$$\mu = \frac{\varepsilon_{2y}}{\varepsilon_{1y}}; \quad (4.5)$$

где

$\varepsilon_{2y}$  – приращение поперечной упругой деформации на ступени нагрузки, соответствующей 30% от  $P_p$ , вычисляется по формуле 4.7.

$$\varepsilon_{1y} = \varepsilon_1 - \Sigma\varepsilon_{1п}; \quad (4.6)$$

$$\varepsilon_{2y} = \varepsilon_2 - \Sigma\varepsilon_{2п}; \quad (4.7)$$

где  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$  – полные относительные продольные и поперечные деформации образца при нагрузке, соответствующей 30% от  $P_p$ .

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta l_1}{l_1}; \quad \varepsilon_2 = \frac{\Delta l_2}{l_2}, \quad (4.9)$$

$l_1$  и  $l_2$  – фиксированные базы измерений продольных и поперечных деформаций.

$\Delta l_1$  и  $\Delta l_2$  – абсолютные приращения продольной и поперечной деформации образца.

$\varepsilon_{1п}$  и  $\varepsilon_{2п}$  – приращения относительных продольных и поперечных деформаций быстронатекающей ползучести, полученные при выдержках нагрузки на ступенях нагружения до уровня нагрузки  $P = 0,3 P_p$ . Данные значения составляют разницу

между начальными значениями деформаций на ступенях и конечными, после выдержки под нагрузкой. Значения в уравнениях являются суммой данных пластических деформаций на разных ступенях.

#### Определение класса бетона, проверка полученных характеристик

Средняя призмная прочность бетона вычисляется по формуле 4.9.

$$R_{\text{пр}}^{\text{ср}} = \frac{\Sigma R_{\text{пр}}}{N}, \quad (4.9)$$

где

N – количество образцов при испытании.

Для определения класса бетона, среднюю призмную прочность переводят в кубиковую по формуле 4.10:

$$R_{\text{сж}} = \frac{R_{\text{пр}}^{\text{ср}}}{0,75}, \quad (4.10)$$

Для определения фактического класса бетона, применяют формулу 4.11:

$$B_{\text{ф}} = 0,8 * R_{\text{сж}}. \quad (4.11)$$

После определения класса бетона, сравнивают значения модуля упругости и коэффициента Пуассона (по своду правил для тяжелого бетона всех классов  $\mu = 0,2$ ), полученные в результате опыта и значения, приведенное в свод правил (таблица 4.2).

Таблица 4.2 - Модуль упругости тяжелого бетона в зависимости от класса

Класс бетона	B5	B7,5	B10	B12,5	B15	B20	B25
Модуль упругости, $E \cdot 10^{-3}$ МПа	13,0	16,0	19,0	21,5	24,0	27,5	30,0

## Вывод

На основе полученных данных и сравнений, необходимо сделать вывод о классе испытываемого бетона, его деформационных характеристиках, о совпадении или расхождении теоретических данных и практического результата.

## Лабораторная работа 5. Испытание бетонных образцов на изгиб и сжатие

Цель и задачи работы: освоить метод испытания бетонных образцов на изгиб и сжатие, определить класс бетона по полученным данным, произвести пересчет прочности при растяжении и сжатии по эмпирическим формулам перевода.

### Испытание бетонной призмы на изгиб

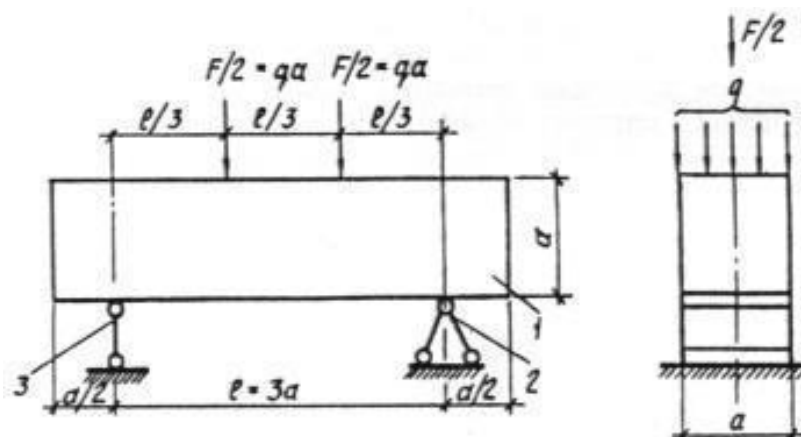


Рисунок 5.1 - Схема испытания бетонной балки на изгиб. 1 – квадратная призма; 2 – шарнирно-неподвижная опора, 3 – шарнирно-подвижная опора

Испытания бетона на растяжение при изгибе производятся на образцах квадратной призмы с соотношением сторон сечения к длине призмы 1/4. Размеры призм и масштабные коэффициенты, соответствующие им приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 - Размеры квадратных призм и значения масштабных коэффициентов

Размеры квадратной призмы, мм	Масштабный коэффициент $\alpha$ , применяемый при расчете на сжатие	Масштабный коэффициент $\delta$ , применяемый при расчете на растяжение при изгибе
70×70×280	0,85	0,86
100×100×400	0,95	0,92
150×150×600	1,00	1,00
200×200×800	1,05	1,15

Бетонная балка устанавливается на опоры относительно прессы, как показано на рисунке 5.1, затем нагружается до полного разрушения. Если образец разрушился не в средней трети пролета или плоскость разрушения образца наклонена к вертикальной плоскости более, чем на  $15^\circ$ , то при определении средней прочности бетона серии образцов этот результат испытания не учитывают.

#### Обработка результатов испытаний

Расчет прочности на растяжение при изгибе выполняется по формуле 5.1

$$R_{\text{изг}} = \delta \frac{lP}{ab^2}, \quad (5.1)$$

где

$\alpha, \delta$  – масштабные коэффициенты при расчете на сжатие и изгиб, соответственно (см. таблицу 5.1);

$P$  – разрушающая нагрузка;

$F$  – площадь сечения при испытании на сжатие (в данном случае, она равна площади пластин, в которых закрепляется образец);

$l$  – пролет испытываемой балки (расстояние между опорами);

$a$  и  $b$  – ширина и высота испытываемой балки.

Вычисленные показатели заносятся в таблицу 5.2.

Таблица 5.2 - Форма таблицы отчета по испытаниям

Наименование определяемых показателей	Значение для отдельных образцов		
	1	2	3
Предел прочности при изгибе, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )			

### Вывод

На основе полученных данных и сравнений, необходимо сделать вывод о пределе прочности бетонных образцов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Заикин, А. И. Железобетонные конструкции одноэтажных промышленных зданий : учебное пособие / А. И. Заикин. - М. : АСВ, 2004. - 272 с.
2. Байков, В. Н. Железобетонные конструкции : общий курс : учебник / В. Н. Байков, Э. И. Сигалов. - 5-е изд., перераб. и доп. - М. : Стройиздат, 1991. - 767 с.
3. Железобетонные конструкции : учебник / под ред. О. Г. Кумпяка. - М. : АСВ, 2003. Ч. 1. - 280 с
4. Железобетонные и каменные конструкции : учебник / под ред. В. М. Бондаренко. - 3-е изд., испр. - М. : Высшая школа, 2004. - 876 с.
5. Тевелев, Ю. А. Железобетонные трубы : проектирование и изготовление : учебное пособие / под ред. А. Н. Дмитриева. - М. : АСВ, 2004. - 328 с.

## Приложение А

### Определение свойств песка

Определение пригодности использования песка в бетонах.

Приборы и материалы: исследуемый песок, сито 0,063, вода, емкости для воды, противни металлические, весы.

Пылевидные и глинистые частицы – содержащиеся в песке частицы с размерами менее 0,063 мм.

Сущность метода заключается в процеживании через сита суспензии, полученной после периодического промывания песка водой, и определении количества частиц, прошедших через сито с размером ячеек 0,063 мм, путем сравнения масс пробы до и после испытаний.

Песок засыпается в сосуд, сосуд наполняют водой и активно перемешивается. Затем образовавшуюся суспензию сливают через сито 0,063 таким образом, чтобы песок оставался в сосуде. Операцию повторяют до момента, пока вода при промывании песка не станет чистой. Затем песок из сосуда и оставшийся на сите выгружают на металлический противень и высушивают до постоянной массы. Содержание пылевидных и глинистых частиц определяют по формуле:

$$П = \frac{m - m_1}{m_1} * 100\%, \quad (A.1)$$

где

m – масса песка до испытаний,

m<sub>1</sub> – масса песка после испытаний,

П – содержание пылевидных и глинистых частиц.

Значение П для бетонов ниже класса В60 должно быть не более 3%, для класса В60 и выше – 2%.

При соответствии этим требованиям, песок допускается для работ, при несоответствии – песок заменяется более чистым, либо промывается имеющийся песок.

Определение истинной плотности песка.

Приборы и материалы: пикнометр, материал в измельченном (порошкообразной) форме, вода, весы.

Проведение опыта: взвешивается некоторое количество материала, (≈100 г) в пикнометр заливается вода до отметки 0 мл.



Затем порошок засыпается в пикнометр мелкими порциями минимум до отметки 20 мл. Затем остаток песка взвешивается и вычисляется средняя плотность по формуле:

$$\rho_{\text{абс}} = \frac{m - m_1}{V}, \quad (\text{A.2})$$

где

$m$  – масса навески

$m_1$  – масса остатка песка

$V$  – показатель объёма на пикнометре.

### Определение модуля крупности песка

Приборы и материалы: навеска промытого песка, набор сит.

Проведение опыта: песок (2000 г) предварительно просеивается через сито с диаметром 10 и 5 мм для определения содержания гравия в песке.

Затем песок (500 г, если песок промыт и в нем определено содержание пылевидных и глинистых частиц, в ином случае – 1000г) просеивается через набор сит 2,5 мм, № 1.25; 063; 0315 и 016. Просеивание допускается производить ручным способом до момента, пока через каждое сито за минуту не будет проходить 0,1% от общей массы навески. В общую массу навески добавляется масса пылевидных и глинистых частиц при их содержании  $\leq 3\%$  в случае, если песок не будет промываться перед добавлением в цемент, если песок подвергается промыванию, масса пылевидных частиц не учитывается. Масса пылевидных и глинистых частиц прибавляется к массе частиц, прошедших через сито 016.

Определяют частный остаток на ситах:

$$a_i = \frac{M_i}{M} \times 100, \quad (\text{A.3})$$

где  $M$  – масса навески,

$M_i$  – остаток на конкретном сите.

Полный остаток на каждом сите вычисляют по формуле:

$$A_i = a_{2.5} + \dots + a_i, \quad (\text{A.4})$$

Модуль крупности песка с размерами зерен меньше 5 мм, определяют по формуле:

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

Результат определения модуля крупности представляют в виде графика (рис. А1).

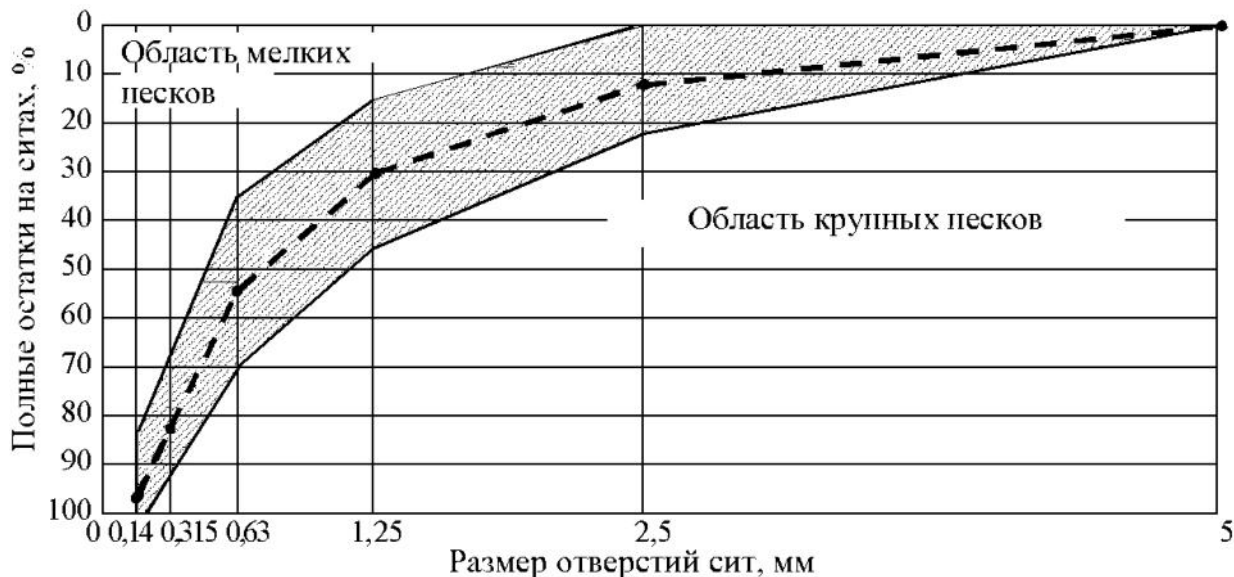


Рисунок А1 - График модуля крупности песка

Таблица А1 - Зависимости группы песка от модуля крупности

Группа песка	Модуль крупности
Повышенной крупности	3,0 ... 3,5
Крупный	2,5 ... 3,0
Средний	2,0 ... 2,5
Мелкий	1,5 ... 2,0
Очень мелкий	1,0 ... 1,5
Тонкий	0,7 ... 1,0
Очень тонкий	До 0,7

Для производства бетона высоких марок и железобетонных конструкций, а также бордюров, тротуарной плитки, колодезных колец стандарты требуют использовать песок крупный и средней крупности. Песок мелкой группы обычно используют для производства разных видов кирпича, изготовления цементных растворов. И, наконец, самый мелкий модуль подходит для строительных мелкодисперсных смесей и накрывочных растворов.

Для наиболее качественного бетона марки В25 и выше используют песок с  $M_k$  не менее 2,5 (крупные зёрна);

- в смесях В15 применяют песок с  $M_k = 2-2,5$  (средняя крупность);
- в приготовлении смесей для подводного бетона, формового камня и растворов — песок с  $M_k$ , равным 1,5-2,0 (мелкие зёрна);
- для производства мелкодисперсных строительных составов применяют песок очень мелкой фракции с  $M_k = 1,0-1,5$ .

## Приложение Б

### Определение свойств щебня

Определение содержания пылевидных и глинистых частиц в щебне.

Приборы и материалы: исследуемый щебень, сито 0,063, вода, емкости для воды, противни металлические, весы.

Пылевидные и глинистые частицы – содержащиеся в песке частицы с размерами менее 0,063 мм.

Сущность метода заключается в процеживании через сита суспензии, полученной после периодического промывания щебня водой, и определении количества частиц, прошедших через сито с размером ячеек 0,063 мм, путем сравнения масс пробы до и после испытаний.

Материал засыпается в сосуд, сосуд наполняют водой и активно перемешивается. Затем образовавшуюся суспензию сливают через сито 0,063 таким образом, чтобы песок оставался в сосуде. Операцию повторяют до момента, пока вода при промывании песка не станет чистой. Затем песок из сосуда и оставшийся на сите выгружают на металлический противень и высушивают до постоянной массы. Содержание пылевидных и глинистых частиц определяют по формуле:

$$П = \frac{m - m_1}{m_1} * 100\%, \quad (Б.1)$$

где

$m$  – масса щебня до испытаний,

$m_1$  – масса щебня после испытаний,

$П$  – содержание пылевидных и глинистых частиц.

Значение  $П$  для бетонов ниже класса В60 должно быть не более 3%, для класса В60 и выше – 2%.

При соответствии этим требованиям, крупный заполнитель допускается для работ, при несоответствии – заменяется более чистым, либо промывается имеющийся.

### Определение средней плотности крупного заполнителя

Приборы и материалы: крупный заполнитель, вода, весы, сетчатая корзина.

Сущность метода заключается в определении объема тела неправильной геометрической формы при помощи погружения в воду.

Образцы крупного заполнителя взвешиваются в сухом состоянии, затем опускаются в сетчатой корзине в воду и встряхиваются в воде 25 раз для удаления пузырьков воздуха. Затем образцы взвешиваются в воде (гидростатическое взвешивание). Средняя плотность материала определяется по формуле:

$$\rho_c = \rho_v \frac{M_4}{M_1 - (M_2 - M_3)}. \quad (\text{Б.2})$$

где

$\rho_v$  – плотность воды, принимаемая 1 г/см<sup>3</sup>;

$M_4$  – масса сухой пробы материала;

$M_1$  – масса мерной пробы насыщенной водой на воздухе;

$M_2$  – масса навески и корзины в насыщенном водой состоянии в воде;

$M_3$  – масса пустой корзины в воде.

#### Определение насыпной плотности

Приборы и материалы: крупный заполнитель, мерный сосуд, весы, совок.

Проведение опыта: мерный сосуд заполняется крупным заполнителем с высоты 10 см до образования избытка. Затем избыток срезается без уплотнения материала. После этого мерный сосуд взвешивается и вычисляется насыпная плотность.

#### Отбор зерен крупного заполнителя

Приборы и материалы: проба крупного заполнителя, набор сит.

Проведение опыта: навеска щебня засыпается в подобранный набор сит. Для отбора зерен необходимого размера (в данном цикле лабораторных рассматривается крупный заполнитель с максимальным размером зерен 20 мм), необходимо взять сита с размерами отверстий 1,25Д и Д, где Д – наибольший размер зерен. Просеять заполнитель через сита.