

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

ДОЛГОВЕЧНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Методические указания
к выполнению лабораторных работ для студентов направления подготовки
22.03.01- Материаловедение и технологии материалов, профиль "Эксперти-
за качества строительных материалов"*

Воронеж - 2019

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ СВОЙСТВ, ПРИЗМЕННОЙ ПРОЧНОСТИ И МОДУЛЯ УПРУГОСТИ ЦЕМЕНТНЫХ БЕТОНОВ

1.1. 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.

1.2. 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 – пластическими. Деформации могут быть также сложными – упруго-пластическими или упруго-вязко-пластическими, если достаточно четко выражены, соответственно, упругая и пластическая или упругая, вязкая и пластическая части.

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 продолжи-

тельностью 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.

1.3. 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 31108-2020); песок природный сухой (ГОСТ 8736-2014; щебень из плотных пород сухой фракции 5-20 мм (ГОСТ 8267-93**); вода (ГОСТ 23732-2011).

1.4. 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), этикетируют 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 бето-

на испытывают образцы-призмы для определения деформационных свойств, призмной прочности и модуля упругости тяжелого цементного бетона.

Состав бетона представляют в табличной форме (пример - табл. 1.1).

Таблица 1.1

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.

1.4.1. 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 1×10^{-5} . Индикаторы устанавливают на образце с помощью прижимных рамок в соответствии с фиксируемой базой измерения деформаций (рис. 1.1).

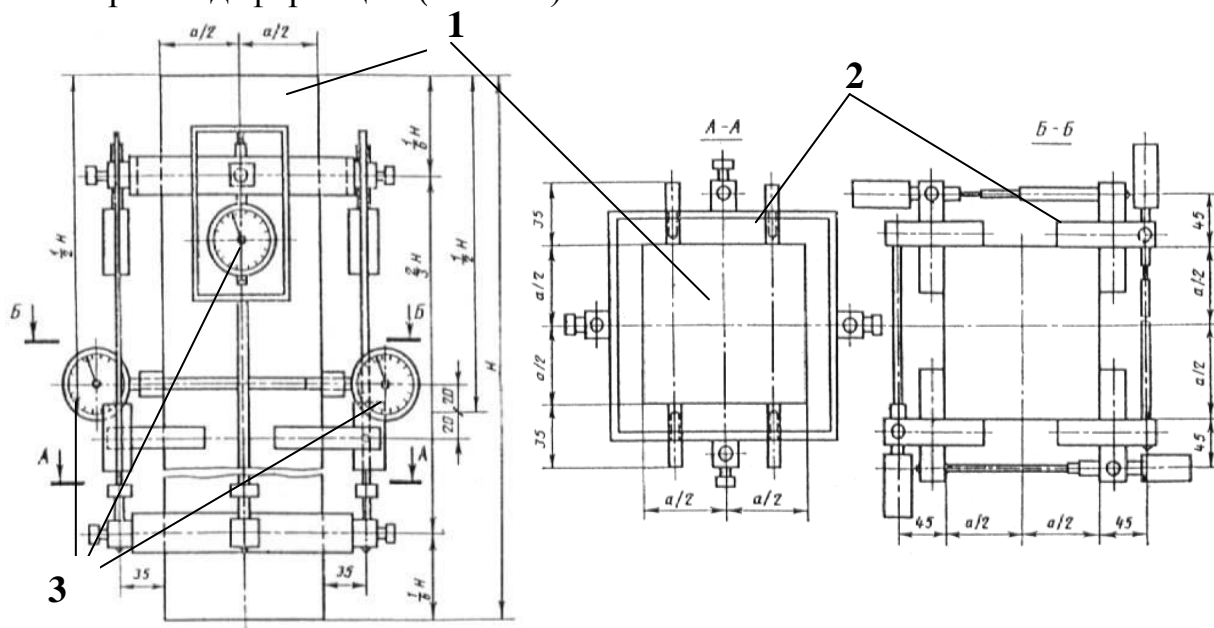


Рис. 1.1. Схема установки прижимных рамок для крепления индикаторов при измерении продольных и поперечных деформаций образца:

1 – образец-призма; 2 – прижимные рамки; 3 – индикаторы часового типа

дикаторов относительно образца в процессе измерения деформации. Пресс должен удовлетворять требованиям ГОСТ 28840-90. При определении призмной 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 пресса. Результаты испытаний заносят в табл. 1.2.

Таблица 1.2

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 ³	Сред- нее значе- ние средней плот- ности, кг/м ³	Пло- щадь нагру- жаемой поверх- ности образ- ца, м ²	Разру- шаю- щая на- грузка <i>P_{разр}</i> , Н	Пре- дел проч- ности при сжа- тии, 0,95 <i>R_{сж}*</i> 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. 1.2) на коэффициент, равный 0,75:

$$R_{приз} = 0,75 \cdot \bar{R}_{сж} . \quad (1.1)$$

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. 1.1) 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.1.1). Индикаторы часового типа устанавливают по четырем граням призмы под углом 90°. В качестве со-

единительной 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. 1.1) 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 пресса в сторону больших деформаций и вновь произвести его центрирование. Образец бракуют после пяти неудачных попыток его центрирования. После окончания центрирования образец испытывают с помощью пресса.

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. 1.3.

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

$$R_{пр} = \frac{P_{разр}}{F}, \quad (1.2)$$

где $P_{разр}$ – разрушающая нагрузка по шкале силоизмерителя пресса, Н;

F – среднее значение площади поперечного сечения образца, m^2 .

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

$$E_{\sigma} = \frac{\sigma_1}{\varepsilon_{1y}}, \quad (1.3)$$

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;

ε_{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

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta l_1}{l_1}, \quad (1.4)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\Delta l_2}{l_2}, \quad (1.5)$$

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 1.3

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

Но- мер сту- пе- ни на- груз- ки	Время при- ложе- ния stufe- 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, $\Delta l_1 \times 10^{-3}$ мм	попе- речных дефор- маций, $\Delta l_2 \times 10^{-5}$ мм
				отс- чет	при- раще- ние $\Delta l \times 10^{-3}$ мм	$\Delta l_1 \times 10^{-3}$	отс- чет	при- раще- ние $\Delta l \times 10^{-3}$ мм	$\Delta l_1 \times 10^{-3}$	отс- чет	при- раще- ние $\Delta l \times 10^{-5}$ мм	$\Delta l_2 \times 10^{-5}$	отс- чет	при- раще- ние $\Delta l \times 10^{-5}$ мм	$\Delta l_2 \times 10^{-5}$		
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 (1.6).

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i, \quad (1.6)$$

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.

1.5. Анализ результатов и выводы

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

1.6. 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 № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕТОНА НЕРАЗРУШАЮЩИМ СКЛЕРОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ КОНТРОЛЯ

1.1. 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.

1.2. 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.

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. 1.1) 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. 1.1. Внешний вид склерометра ОМШ-1

Электронный склерометр «ОНИКС-2-3» (рис. 1.2) 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. 1.3.



Рис. 1.2. Внешний вид склерометра «ОНИКС-МГ-4»



Рис. 1.3. 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.

1.3. 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 31108-2020); песок природный сухой (ГОСТ 8736-2014; щебень из плотных пород сухой фракции 5-20 мм (ГОСТ 8267-93**); вода (ГОСТ 23732-2011).

1.4. Методика выполнения и результаты работы

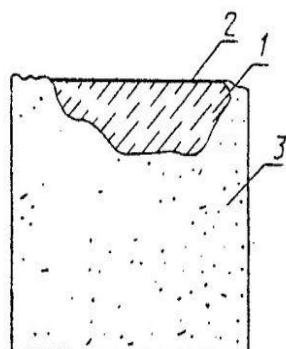


Рис. 1.4. Схема расположения пробы бетона в растворе:

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

Лабораторная подгруппа делится на 3 звена. Каждое звено производит в монолитивание 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, в монолитивают

бетонный образец в поверхность раствора, уплотняют на лабораторной виброплощадке, этикетируют образцы, накрывают формы стеклом, полиэтиленовой пленкой или мокрой тканью и оставляют твердеть в естественных ус-

ловиях. Распалубливают формы с образцами в монолитного бетона в раствор через 14 суток твердения. Схема расположения пробы после распалубки формы представлена на рис. 1.4.

Для метода упругого отскока минимальный объем пробы составляет 1000 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.

1.4.1. Описание прибора «молоток Кашкарова»

Молоток Кашкарова - инструмент, предназначенный для определения прочности железобетонных изделий, либо монолитного железобетона. Внешний вид прибора представлен на рис. 1.5.

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. 1.6).



Рис. 1.5. Внешний вид прибора

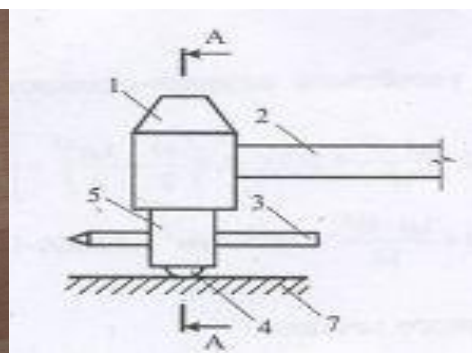


Рис. 1.6. Схема конструкции молотка Кашкарова

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.

1.4.2. Проведение испытаний с помощью молотка Кашкарова

Каждое звено студентов производит испытание одной в монолитной в раствор пробы бетона. Для испытания методом упругого отскока при ударе индентора растворную обойму с пробой зажимают в лабораторном прессе усилием (30 ± 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° 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».

Результаты испытаний образцов бетона, полученные всеми звеньями, заносят в табл. 1.1.

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 $\bar{R}_{см}$, МПа
1						
2						
3						
4						
5						
...						
15						

1.5. Анализ результатов и выводы

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

1.6. 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 № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕТОНА НЕРАЗРУШАЮЩИМ УЛЬТРАЗВУКОВЫМ МЕТОДОМ КОНТРОЛЯ

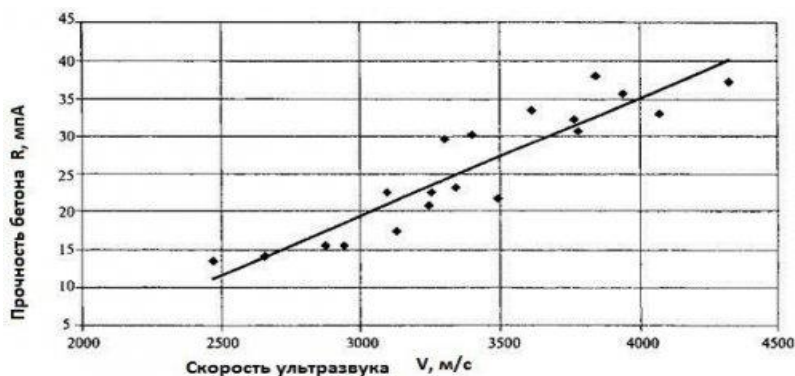
1.1. Цель работы

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.

1.2. 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. 1.1).

Рис. 1.1. 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. 1.2). Число измерений времени распространения ультразвука в каждом образце должно быть: при сквозном прозвучивании - 3, при поверхностном - 4.

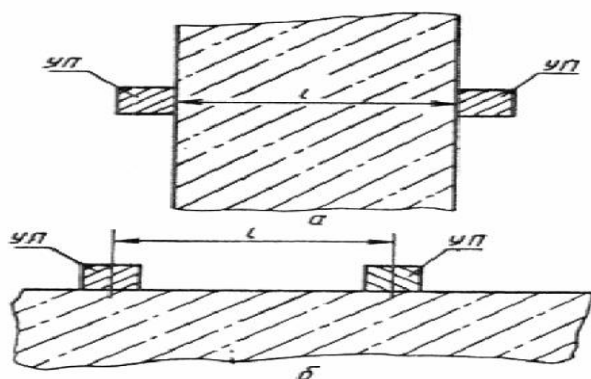


Рис. 1.2. Схема испытания бетона:
a – способом сквозного прозвучивания;
б – способом поверхностного прозвучивания;
 УП – ультразвуковой преобразователь;
 L – база прозвучивания

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. 1.3,а) предназначен для определения прочности бетона в ЖБИ ультразвуковым методом при сквозном прозвучивании. Прибор укомплектован приспособлением для поверхностного прозвучивания.



Рис.1.3. Внешний вид ультразвуковых приборов:
а - БЕТОН-22; б - ПУЛЬСАР-2.1; в - УК1401М

Прибор ПУЛЬСАР-2.1 (рис. 1.3,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. 1.3.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 оценки 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.

1.3. 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 31108-2020); песок природный сухой (ГОСТ 8736-2014); щебень из плотных пород сухой фракции 5-10 мм (ГОСТ 8267-93**); вода (ГОСТ 23732-2011).

1.4. 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. 1.1.

Таблица 1.1

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.

1.4.1. Описание прибора УК-14П

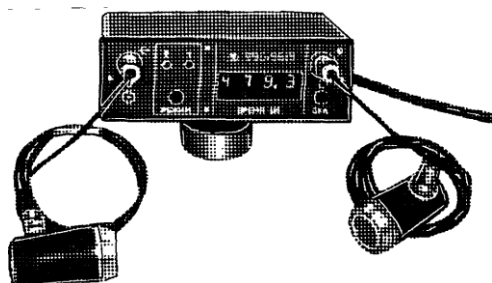


Рис. 1.4. Внешний вид ультразвукового прибора УК-14П

Ультразвуковой прибор типа УК-14ПМ (рис. 1.4) 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. 1.5.

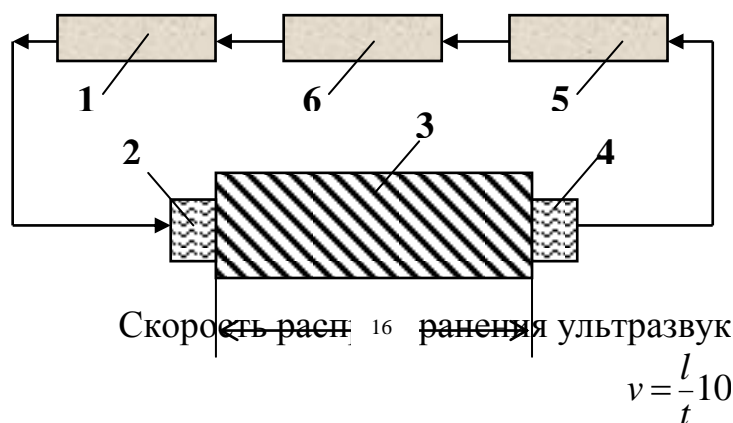


Рис. 1.5. Схема действия ультразвукового прибора:

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

где l - база прозвучивания, мм;

t - время прохождения ультразвука, мкс.

1.4.2. 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. Включают с помощью тумблера прибор и снимают показания времени распространения ультразвука на табло прибора. Измерения проводят трижды.

Скорость распространения ультразвука v рассчитывают по формуле (1.1). Прочность бетона определяют по градуировочной зависимости «скорость распространения ультразвука - прочность бетона $V = f(R)$ ».

Результаты испытаний образцов, полученные всеми звеньями, заносят в табл. 1.2.

Таблица 1.2

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			

1.5. Анализ результатов и выводы

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

1.6. 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 № 4

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ БЕТОНОВ

1.1. Цель работы

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

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

1.2. 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 λ . Численно эта характеристика равна количеству теплоты (Дж), проходящей через образец материала толщиной в единицу длины 1 м, через единицу площади 1 м², за единицу времени 1 с при единичном температурном градиенте 1 К. В метрической системе мер единицей измерения коэффициента теплопроводности является Вт/(м · К).

$$\lambda = \frac{d}{R}, \quad (1.1)$$

где d – толщина испытываемого образца, м;

R – термическое сопротивление образца, (м²·К)/Вт.

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

$$\vec{q} = -\lambda \text{grad}(T), \quad (1.2)$$

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

λ - 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):

$$P = -\frac{S \cdot \Delta T}{l}, \quad (1.3)$$

где P — полная мощность тепловых потерь;
 S — площадь сечения параллелепипеда,
 ΔT — 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 Вт/(м • К) при средней температуре слоя 298 К и влажностью, нормированной стандартами или техническими условиями. Значения коэффициента теплопроводности различных материалов приведены в Приложении (табл. П).

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

1.3. 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-параллелепипеда 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 31108-2020); 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).

1.4. 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. 1.1.

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

Таблица 1.1

Составы композитов

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


1.4.1. Описание прибора ИТС-1




Рис. 1.1. 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. 1.1). На задней торцевой стенке помещены выключатель, разъём 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 «M».

1.4.2. 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 (погрешность $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$). 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 λ , 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 λ в Вт/(мК); термическое сопротивление R в (м²К)/Вт; поверхностную плотность теплового потока q в Вт/м². Снятия значений этих показателей осуществляется путем нажатия клавиши «М».

По окончании замера прибор зафиксировывает 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. 1.2.

Таблица 1.2

Результаты испытаний образцов- параллелепипедов

Вид бетона	Номер измерения	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/(мК);	Термическое сопротивление R , (м ² К)/Вт	Плотность теплового потока q , Вт/м ²
	1			
	...			
	n			
	Среднее значение			

1.5. Анализ результатов и выводы

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

1.6. 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 № 5

ИССЛЕДОВАНИЕ ИСТИРАЕМОСТИ БЕТОНОВ

1.1. Цель работы

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

1. 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 недопустимых 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.

1.3. 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 31108-2020); 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).

1.4. Методика выполнения и результаты работы

Лабораторная подгруппа делится на 3 звена. Каждое звено формирует по шесть образцов-кубов размером 70 × 70 × 70 мм из бетонной смеси вида, указанного преподавателем. Составы бетонов заносят в табл. 1.1.

Таблица 1.1

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.1.1). Образцы бетона взвешивают и определяют площадь истираемой поверхности. Образцы испытывают двумя сериями. Число образцов в серии должно быть не менее трех.

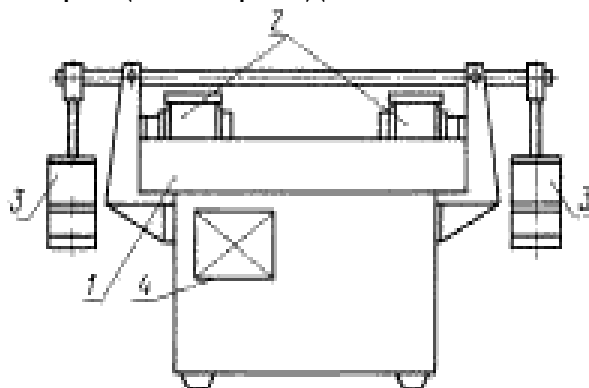


Рис. 1.1. Схема круга истирания ЛКИ-3:

- 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 ± 5) Н. На истирающий диск (1) прибора ЛКИ-3 равномерным слоем насыпают первую порцию (20 ± 1) г вольского песка, расходуемую 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° 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 г/см^2 , характеризующую потерей массы образца, определяют с погрешностью до $0,1 \text{ г/см}^2$ по формуле

$$G_i = \frac{m_1 - m_2}{F}, \quad (1.1)$$

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

Истираемость бетона серии образцов G_c определяют с погрешностью до $0,1 \text{ г/см}^2$ как среднее арифметическое значение результатов определения истираемости отдельных образцов серии по формуле

$$G_c = \frac{\sum_{i=1}^n G_i}{n}, \quad (1.2)$$

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. 1.2.

$$T_i = \frac{G_c - G_i}{S}, \quad (1.3)$$

где S – среднее квадратичное отклонение.

Таблица 1.2

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

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (G_c - G_i)^2}{n-1}}. \quad (1.4)$$

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

Результаты испытаний и расчетов заносят в табл. 1.3

Таблица 1.3

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 ²	Масса образца после испытания, m_2 , г	Истираемость бетона, G_c , г/см ²	Предел прочности при сжатии, $R_{сж}$ МПа
Вид бетона						
1						-
n						-
Среднее значение величины:					$G_c =$	$\bar{R}_i =$
Среднее квадратичное отклонение					$S =$	

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

$$k_{ист} = \frac{h}{PS}, \quad (1.5)$$

где h – высота удаленного истиранием слоя образца, см;
 P – прижимающее усилие, Н/см²;
 S – путь образца, км.

Высоту удаленного истиранием слоя образца h определяют по формуле

$$h = \frac{a}{VF}, \quad (1.6)$$

где a – износ образца ($m_1 - m_2$), г;
 V – средняя плотность, г/см³;
 F – площадь истираемой поверхности, см².

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.

1. 5. Анализ результатов и выводы

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

1.6. 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 № 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ СТОЙКОСТИ БЕТОНОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ АГРЕССИВНЫХ СРЕД

1.1. 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:
 - состоянию образцов при хранении их в агрессивной среде в течение 1,5 месяцев;
 - изменению массы и предела прочности при сжатии образцов.

1.2. 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 фильтрующейся 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.

1.3. 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 31108-2020); 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 70,7 × 70,7 × 70,7 мм из бетонной смеси вида, указанного преподавателем. Составы бетонов заносят в табл. 1.1.

Таблица 1.1

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

$$K_{R_{сж}} = \frac{R_{сж(агр)}}{R_{сж(вод)}}, \quad (1.1)$$

где $R_{исз(агр)}$ и $R_{сж(агр)}$ - соответственно средние значения предела прочности при сжатии бетона, хранящегося в агрессивной среде;

$R_{исз(вод)}$ и $R_{сж(вод)}$ - соответственно средние значения предела прочности при сжатии бетона, хранящегося в воде.

Результаты испытаний и расчетов заносят в табл. 1.2, 1.3.

18.5. Анализ результатов и выводы

По полученным результатам делают вывод об относительной стойкости бетона под воздействием агрессивных сред.

Таблица 1.2

Результаты испытаний образцов

№ образца	Вид бетона								Изменение показателей через 28 суток	
	в воде				в растворе Na ₂ SO ₄					
	через 1 сутки		через 28 суток		через 1 сутки		через 28 суток		изменение массы, Δm, г	ΔR, при сжатии, МПа
мас са, т, г	R при сжатии, МПа	мас са, т, г	R, при сжатии, МПа	мас са, т, г	R, при сжатии, МПа	мас са, т, г	R, при сжатии, МПа			

Таблица 1.3

Относительная стойкость материалов

Вид материала	Относительная стойкость по:	
	изменению массы, %	коэффициенту стойкости $K_{R_{сж}}$

1.6. Контрольные вопросы

1. Виды коррозии строительных материалов.
2. По каким критериям оценивается стойкость строительных материалов в агрессивных средах?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОСТОЙКОСТИ БЕТОНОВ

1.1. Цель работы

1. Изучение методики определения термостойкости бетона по:
 - изменению массы образцов;
 - изменению прочности при сжатии.
2. Определение коэффициента термической стойкости бетона.

1.2. Краткие теоретические сведения

Термостойкость – это способность материала сопротивляться действию весьма высоких температур (свыше 200 °С), способность бетона противостоять, 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 других 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.

1.3. 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 31108-2020); песок природный сухой (ГОСТ 8736-2014); щебень из плотных пород сухой фракции 5-10 мм (ГОСТ 8267-93**); вода (ГОСТ 23732-2011).

1.4. Методика определения термостойкости

Лабораторная подгруппа делится на 3 звена. Каждое звено формирует по шесть образцов размером $50 \times 50 \times 50$ мм из бетонной смеси вида, указанного преподавателем. Составы бетонов заносят в табл. 1.1.

Все подготовленные для испытания образцы взвешивают, маркируют и помещают в сушильный шкаф. Образцы высушивают до постоянной массы, при температуре 105°C .

После высушивания все образцы измеряют и взвешивают.

Таблица 1.1

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 кг/м^3 и более:

образцы помещают в печь, предварительно разогретую до температуры 500°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 кг/м^3 и ячеистой структуры:

образцы помещают в печь, предварительно разогретую до температуры 500°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 (выкрашивание 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

$$T = \frac{\bar{R}_{сж}^T}{\bar{R}_{сж}^C} \cdot 100\%, \quad (1.1)$$

где $\bar{R}_{сж}^T$ - среднее значение предела прочности при сжатии бетона после термического воздействия, МПа;

$\bar{R}_{сж}^C$ - среднее значение предела прочности при сжатии бетона в высушенном состоянии, МПа.

Результаты испытаний и расчетов заносят в табл. 1.2.

1.5. Анализ результатов и выводы

По полученному значению коэффициента термической стойкости делают вывод о сравнительной термостойкости материалов.

Таблица 1.2

Результаты испытаний и расчетов

Вид обработки бетона	Номер образца	Геометрические размеры, а × б × с, м	Масса до обработки, г	Масса после обработки, г	Изменение массы, Δm, 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
Вид бетона									
Высушивание	1								
	...								
	n								
ТО	1								
	...								
	n								

1.6. 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 № 8

ИСПЫТАНИЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АРМАТУРНОЙ СТАЛИ

1.1. 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; относительного сужения после разрыва; временного сопротивления; пределов текучести и упругости; модуля упругости.

2. Определить основные характеристики арматурной стали:

- временное сопротивление разрыву;
- предел текучести (физический и условный);
- относительное удлинение и относительное равномерное удлинение после разрыва.

1.2. 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_т, А_{тп}, В, В_р.

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/мм², например, А-I(А 240), А-II(А 300) и т.д. При обозначении термически упрочненной после проката арматурной стали принят индекс А_т с соответствующей градацией, например, А_т-IV(А_т 600) др. Стали, обладающие повышенной коррозионной стойкостью, обозначаются индексами А_{стп}.

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 АIII(А 400) и А-IV(А 600) – периодический профиль с выступами в виде «елочки».

Концы арматурных стержней из стали класса А_т-IV(А_т600) окрашивают в белый цвет, из стали класса А_т-V(А_т800) – в синий, из стали класса А_т-VI(А_т1200) – 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.

Холоднокатаную арматурную проволоку различают по классам В-I, В_р-I, В-II, В_р-II (буква «р» (рифленая) обозначает арматуру периодического профиля). Обыкновенная арматурная проволока (низкоуглеродистая) классов В-I и В_р-I предназначается для применения в качестве ненапрягаемой арматуры. Проволока классов В-II и В_р-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.

1.3. 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.

1.4. Рабочее задание

Определить основные характеристики арматурной стали: временное сопротивление разрыву; предел текучести (физический и условный); относительное удлинение и относительное равномерное удлинение после разрыва.

1.5. 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 40 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. Указанные 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. 1.1.

Таблица 1.1

Геометрические размеры образца

Номер образца	Значение диаметра образца в двух взаимно перпендикулярных направлениях, мм						Площадь поперечного сечения образца, F_0 , мм ²
	d_1		d_2		d_3		
	d_{11}	d_{12}	d_{21}	d_{22}	d_{31}	d_{32}	

Начальная площадь поперечного сечения необработанных образцов арматуры периодического профиля F_0 , мм², вычисляют по формуле

$$F_0 = m / \rho l, \quad (1.1)$$

где m - масса испытываемого образца, кг;

l - длина образца, м;

ρ – плотность стали ($\rho = 7850 \text{ кг/м}^3$).

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. 1.1).

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

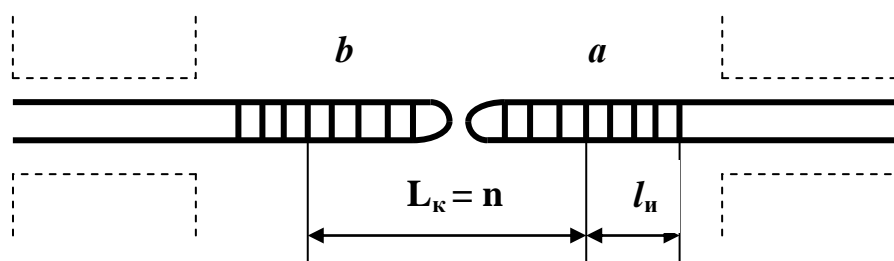


Рис. 1.1. Схема разрыва образца

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

$$l_k = cq + 2ce, \quad (1.2)$$

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 δ , %, вычисляют по формуле

$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} \cdot 100. \quad (1.3)$$

В зависимости от величины начальной расчетной длины образца к букве « δ » добавляют индекс, например, при начальной расчетной длине, равной $5d$ – δ_5 , при 100 мм – δ_{100} и т.д.

Величину относительного равномерного удлинения δ_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 δ_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

$$(1.4)$$

Относительное удлинение и относительное равномерное удлинение после разрыва вычисляют с округлением до 0,5 %.

Временное сопротивление σ_b , определяют с погрешностью не более 5 МПа по формуле

$$(1.5)$$

где P_{max} – максимальная осевая растягивающая нагрузка, Н, при которой произошел разрыв образца арматуры.

Предел текучести (физический) σ_m вычисляют также с погрешностью не более 5 МПа по формуле

$$(1.6)$$

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 теку-

чести рекомендуется определять аналитическим способом. Для этого вычисляют остаточную деформацию при $\Delta l_m = 0,2$ % базы тензометра. Затем определяют среднюю величину упругой деформации Δl_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 (σ_s) 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

$$(1.7)$$

Результаты всех испытаний и вычислений сводят в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Результаты всех испытаний и вычислений

Номер образца	l_0 , мм	l_1 , мм	l_k , мм	l_u , мм	δ , %	δ , %	δ_p , %	δ_p , %	σ_s , МПа	σ_s , МПа	σ_m , МПа	σ_m , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа
1...6														

1.6. 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.

1.7. 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 № 9

ИСПЫТАНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКИ НА ИЗГИБ И РАСЧЕТ ЕЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ

1.1. Цель работы

1. Ознакомление с методикой проведения испытания железобетонной балки на изгиб.
2. Экспериментальное определение и расчет несущей способности железобетонной балки.

1.2. 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.

1.3. 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 ± 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 31108-2020), песок природный сухой (ГОСТ 8736-2014), щебень из плотных пород сухой (ГОСТ 8267-93**), вода (ГОСТ 23732-22011), арматурные каркасы для изготовления железобетонной балки.

1.4. 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.

1.5. Методика выполнения и результаты работы

Преподаватель задает определенный состав тяжелого цементного бетона. Расход материалов для приготовления бетонной смеси заносят в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Расход материалов для приготовления бетонной смеси

Наименование компонента	Расход компонента на 1 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 × 100 × 70 мм и образцы-спутники размером 100 × 100 × 100 мм в количестве 30 штук. При формировании балку армируют двумя каркасами из арматурной стали (рис. 1.1).

Таблица 1.2

Результаты испытаний бетонных образцов-кубов

Номер образца	Площадь испытываемой поверхности, см ²	Разрушающая нагрузка, Н	Предел прочности при сжатии, МПа	Среднее значение предела прочности при сжатии, МПа	Коэффициент изменчивости, %

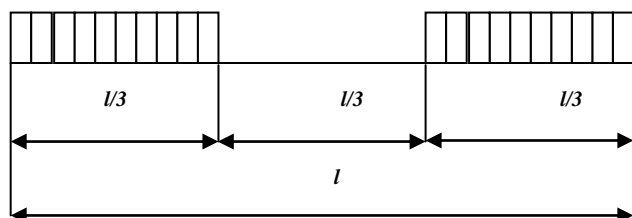


Рис. 1.1. Схема армирования балки

Образцы-спутники необходимы для оценки прочности бетона и его однородности по прочности. Твердение железобетонной балки и образцов-спутников осуществляют в одинаковых условиях (температура

20 ± 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. 1.2.

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. 1.2).

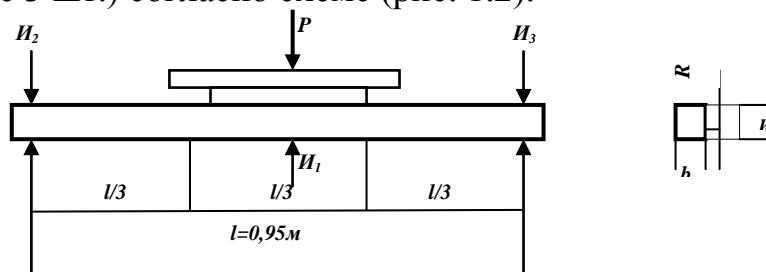


Рис. 1.2. Схема установки приборов на железобетонной балке

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. 1.3 – 1.5.

Таблица 1.3

Результаты замеров деформаций обжатой зоны бетона

Номер ступени загрузки	Разрушающая нагрузка (P_p), Н	Изгиб ающей момент, Н·см	Тензометры								$\epsilon_{дср}$	
			Т-1				Т-2					
			показания прибора	приращение деформаций, мм $\cdot 10^{-3}$	деформации, мм $\cdot 10^{-3}$	относительные деформации, ($\epsilon_{\delta 1}$)	показания прибора	приращение деформаций, мм $\cdot 10^{-3}$	деформации, мм $\cdot 10^{-3}$	относительные деформации, ($\epsilon_{\delta 2}$)		

Таблица 1.4

Результаты замеров деформаций растянутой арматуры

Номер ступени загрузки	Разрушающая нагрузка (P_p), Н	Изгиб ающей момент, Н·см	Тензометры								$\epsilon_{дср}$	
			Т-3				Т-44					
			показания прибора	приращение деформаций, мм $\cdot 10^{-3}$	деформации, мм $\cdot 10^{-3}$	относительные деформации, ($\epsilon_{\delta 3}$)	показания прибора	приращение деформаций, мм $\cdot 10^{-3}$	деформации, мм $\cdot 10^{-3}$	относительные деформации, ($\epsilon_{\delta 4}$)		

Таблица 1.5

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 над опорой, (C_m)	показания прибора	деформация смятия бетона над опорой, (C_m)	

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

$$M_{внеш} = \frac{P \cdot l}{6}, \quad (1.1)$$

где P – величина расчетной разрушающей нагрузки, Н;

l – пролет балки, см.

Момент внутренних сил определяют по формуле

$$M_{внутр} = R_a \cdot F_a \left(h_0 - \frac{xl}{2} \right) = b \cdot x \cdot R_{np} \left(x_0 - \frac{x}{2} \right), \quad (1.2)$$

где R_a – расчетное сопротивление арматуры (принимают по справочным данным), МПа;

F_a – площадь поперечного сечения арматуры, см²;

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

$$R_{np} = R^H (0,77 - 0,0001 R_{cp}), \quad (1.3)$$

где R^H – нормативная прочность бетона, МПа;

R_{cp} – среднее значение предела прочности бетона, МПа (табл. 18.2).

Нормативную прочность бетона определяют по формуле

$$R^H = R_{cp} (1 - 1,64 V_6), \quad (1.4)$$

где V_6 – принимают по таблице 21.2.

Подставив выражения (21.1) и (21.2) в уравнение

$$M_{внеш} = M_{внутр}, \quad (1.5)$$

получают

$$\frac{P \cdot l}{6} = R_a \cdot F_a \left(h_0 - \frac{xl}{2} \right), \quad (1.6)$$

Отсюда величина расчетной разрушающей нагрузки (P) определяют как

$$P = \frac{6 \cdot R_a \cdot F_a \left(h_0 - \frac{x}{2} \right)}{l}. \quad (1.7)$$

Значение x получают, используя выражение

$$x = \frac{R_a \cdot F_a}{R_{np} \cdot b}. \quad (1.8)$$

Нагрузку на железобетонную балку доводят до величины, принятой для первой ступени нагружения. При этой нагрузке балку выдерживают в течение 2 мин и вновь снимают показания тензометров и индикаторов, которые заносят в табл. 1.3 - 1.5. Затем совершают переход на следующий этап нагружения. Процедуру снятия показаний тензометров и индикаторов повторяют на каждой ступени 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

$$f = f' - \frac{C'_m + C''_m}{2}, \quad (1.9)$$

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 (1.7). Несущую способность балки ($P_{раз}$), полученную экспериментальным путем, сравнивают с расчетной величиной (P).

1.6. 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.

1.7. 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?