

Министерство образования и науки Российской Федерации
Сибирский федеральный университет

ОБСЛЕДОВАНИЕ И ИСПЫТАНИЕ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

**Методические указания
к лабораторным работам**

Учебно-методическое пособие

Электронное издание

Красноярск
СФУ
2016

УДК 69.058(075.8)
ББК 38.7я73
О-255

Составители: Рожков Александр Федорович
Плясунов Евгений Геннадьевич
Жаданов Виктор Иванович
Ниёзова Анастасия Андреевна

О-255 **Обследование и испытание зданий и сооружений. Методические указания к лабораторным работам** : учебно-методическое пособие [Электронный ресурс] / сост. А.Ф. Рожков, Е.Г. Плясунов, В.И. Жаданов, А.А. Ниёзова. – Электрон. дан. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2016. – 38 с. – Систем. требования: РС не ниже класса Pentium I; 128 Mb RAM; Windows 98/XP/7/8/10; Adobe Reader V8.0 и выше. – Загл. с экрана.

Данное пособие позволяет получить необходимые практические навыки по современным методам испытаний и контроля качества материалов, конструкций, а также способствует развитию навыков для ведения исследовательских работ.

Предназначено для студентов специальности «Промышленное и гражданское строительство» всех форм обучения.

УДК 69.058(075.8)
ББК 38.7я73

© Сибирский федеральный
университет, 2016

Электронное учебное издание

Подготовлено к публикации издательством
Библиотечно-издательского комплекса

Подписано в свет 10.10.2016. Заказ № 2905
Тиражируется на машиночитаемых носителях

Библиотечно-издательский комплекс
Сибирского федерального университета
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 82а
Тел. (391) 206-26-67; <http://bik.sfu-kras.ru>
E-mail: publishing_house@sfu-kras.ru

СОДЕРЖАНИЕ

Общие указания по выполнению лабораторных работ	4
Лабораторная работа № 1	
Изучение приборов и оборудования, применяемых при испытании строительных конструкций.....	5
Лабораторная работа №2	
Тарирование измерительных приборов.....	7
Лабораторная работа № 3	
Определение прочности бетона в конструкциях неразрушающими методами.....	12
Лабораторная работа № 4	
Ультразвуковой импульсный метод контроля качества материалов в конструкциях	20
Лабораторная работа № 5	
Определение диаметра арматуры и толщины защитного слоя бетона в железобетонных конструкциях	29
Лабораторная работа №6	
Динамические испытания консольной балки в режиме свободных колебаний	33
Библиографический список	38

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Лабораторные работы проводятся с целью помочь студентам получить необходимые практические навыки по современным методам испытаний и контроля качества материалов, конструкций и сооружений; научить их анализировать работу конструкции, сравнивая экспериментальные данные с теоретическими и при этом формулировать правильные выводы; способствовать развитию наблюдательности, накоплению навыков для ведения исследовательских работ.

При подготовке к лабораторным занятиям студент должен по указанной в приложении к работе учебной, технической и нормативной литературе уяснить цели и задачи, решаемые в каждой лабораторной работе и порядок ее проведения; знать устройство и правила пользования применяемыми приборами и оборудованием; уметь обрабатывать результаты измерений. Готовность студентов к проведению работы проверяется путем опроса на компьютере или собеседованием с преподавателем. После проверки знаний, подготовленные студенты, допускаются к выполнению работы.

Работы выполняются в 10-15 человек, являющихся как бы бригадой по испытанию конструкций. Каждый студент выполняет только один вид работы, а вся подгруппа отрабатывает методику испытания конструкции в целом. После обработки результатов измерений бригадой проводится анализ полученных данных, делаются соответствующие выводы, и проводится индивидуальная защита работы.

Для предотвращения несчастных случаев обязательным при выполнении лабораторных работ является точное и неуклонное выполнение правил и инструкций по технике безопасности, а также требований и указаний преподавателя.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1.

ИЗУЧЕНИЕ ПРИБОРОВ И ОБОРУДОВАНИЯ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ ИСПЫТАНИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Цель работы:

Изучить назначение, устройство и технические характеристики наиболее употребительных контрольно-измерительных приборов механического и электрического принципов действия; освоить методику их установки на испытываемой конструкции; получить навыки работы с приборами и обработки результатов измерений.

Обеспечение:

Гидравлические домкраты, прогибомеры Н.Н. Аистова, тензостанция с набором преобразователей неэлектрических величин в электрические, индикаторы часового типа (ИЧ), метрические измерительные головки (МиГ).

Методика выполнения работы:

Изучение устройства каждого из приборов осуществляется путем ознакомления с "Инструкциями ..." по их пользованию и плакатами, освещающими их устройство, а также при непосредственном осмотре прибора. Методика установки и работы с прибором отрабатывается на модели деревянной балки (рисунок 1), для чего необходимо:

1. Установить с помощью струбцин и штативов индикаторы часового типа, прогибомеры системы Н.Н. Аистова для измерения вертикальных перемещений балки, МиГ для измерения деформаций, проволочные тензорезисторы для измерения напряжений и клинометр для измерения угловой деформации балки.

2. Проверить правильность установки приборов пробным нагружением балки. При этом при нагружении балки стрелки приборов должны отклоняться, а при разгрузке - возвращаться в исходное положение.

3. Снять и записать в журнал показания приборов до загрузки и после приложения нагрузки. По показаниям МиГ и тензорезисторов вычислить напряжения в балке; а по показаниям прогибомеров и индикаторов - линейные перемещения, по показаниям клинометров - угловые деформации.

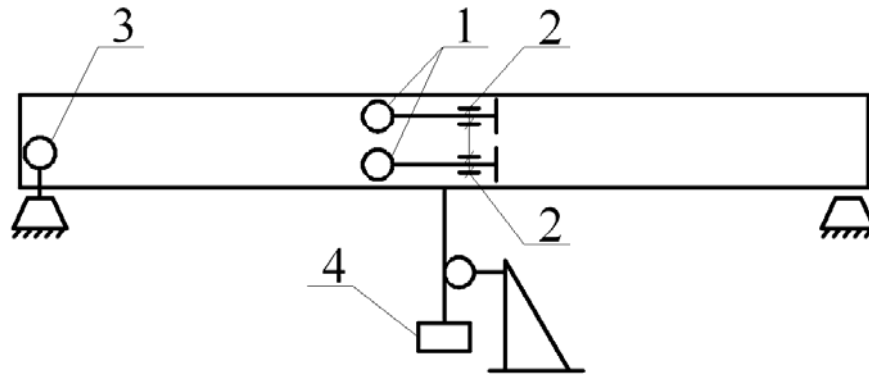


Рисунок 1 - Экспериментальная модель
1 – МиГ; 2 – тензорезистор; 3 – ИЧ; 4 – прогибомер

Обработка результатов испытаний.

После выполнения работы, студент оформляет отчет, в котором должны быть приведены принципиальные (кинематические) схемы изученных приборов или устройств, указаны их области применения и основные технические характеристики.

Литература

[1.С.83-133, 153-165]; [2, С. 11-80, 163-193, 205-243]; [3, С. 47-102]; [4. С. 73-93, 126-146]; [8. С.6-59]-; [11. С. 9-115].

Контрольные вопросы:

1. Устройство, назначение и области применения индикатора часового типа, прогибомеров Аистова, уровневого и маятникового клинометров, МиГ, тензометров.
2. Можно ли одним прогибомером измерить прогиб конструкции?
3. Какие факторы влияют на выбор размера базы тензометра?
4. Как найти приращения напряжений в элементе конструкции?
5. Какое влияние оказывают изменения температуры и влажности окружающей среды на показания приборов?
6. Как подготавливается участок поверхности конструкции, выполненной из металла, бетона, дерева или пластмассы для постановки механических и электрических тензометров?
7. Как оценить качество наклейки тензорезисторов?
8. Как проверить качество установки механических приборов?
9. Способы приложения нагрузки.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2.

ТАРИРОВАНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Цель работы:

Ознакомиться с методами поверки измерительных приборов и испытательных машин на примерах определения коэффициента тензочувствительности проволочных тензорезисторов и поправочного коэффициента шкалы рычажного тензометра.

Обеспечение.

Тарировочное устройство в виде консоли равного сопротивления или балки с зоной чистого изгиба, рычажный тензометр, струбцины, проволочные тензорезисторы, контрольно-измерительная аппаратура, монтажные провода.

Описание приборов и приспособлений.

Тензорезистором (рисунок 2) называют плоский элемент, состоящий из тонкой проволоки - 1, изготовленной из материала, обладающего низким коэффициентом температурного сопротивления и высоким удельным сопротивлением (константан, эдванс, элинвар и т.п.), уложенной в виде петель между двумя бумажными или пленчатыми слоями - 2. К концам проволоки для удобства монтажа припаивают тоководы - 3, сечением 0,1 x 1,0 мм и длиной 20-30 мм из латуни или меди - 3. Тензорезисторы могут быть также выполнены из полупроводниковых материалов, а также из фольги методом травления.

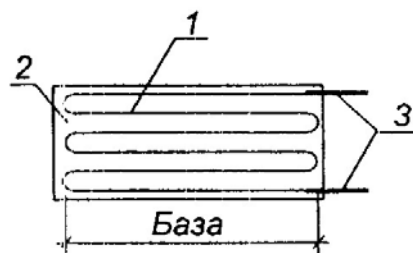


Рисунок2 - Проволочный тензорезистор

Изменение сопротивления обычных, проволочных тензорезисторов при их относительной деформации $5 \times 10^{-6} \div 1 \times 10^{-5}$ составляет тысячные доли Ома. Поэтому для измерения сопротивления с высокой точностью используются электрические цепи мостового типа. Чаще всего применяют автоматические устройства, в основе которых используются: мост Уитстона, двоянный мост Кельвина или потенциометрический способ.

Для уменьшения воздействия температуры на точность измерений устанавливаются компенсационный тензорезистор, который помещается в такие же условия, как и активный, но не подвергается силовому воздействию.

Деформации по показаниям тензорезисторов определяют по следующей формуле:

$$\varepsilon = \frac{(C_n - C_0) \cdot C_D}{K}, \quad (1)$$

где C_n - отсчет по измерительному мосту на данной ступени нагружения;

C_0 - нулевой отсчет по мосту;

C_D - цена деления шкалы прибора;

K - коэффициент тензочувствительности тензорезистора, представляющий собой отношение относительного изменения сопротивления тензорезистора к его относительной деформации.

$$K = \frac{\Delta R/R}{\Delta l/l} = \frac{\Delta R}{\varepsilon \cdot R}, \quad (2)$$

Рычажный тензометр Гугенбергера - прибор механического действия для измерения линейных деформаций отдельных волокон элементов конструкции. Принцип его действия основан на механическом увеличении измеряемой деформации системой передач и рычагов.

Вычисление деформаций по показаниям рычажных тензометров выполняются по формуле:

$$\varepsilon = \frac{\Delta C}{K \cdot l} \cdot C_D, \quad (3)$$

где $\Delta C = C_n - C_0$

(C_n - показания прибора на данной ступени нагружения;

C_0 - нулевой отсчет по прибору);

l - база прибора;

C_D - цена деления шкалы, мм;

K - поправочный коэффициент шкалы.

Для определения поправочного коэффициента шкалы рычажного тензометра и коэффициента тензочувствительности тензорезистора обычно с помощью специального упругого элемента (консоль равного сопротивления на рис. 2 или балка с зоной чистого изгиба) задают величину относительной

деформаций. Величина относительной деформации в любом сечении консоли равного сопротивления при нагружении ее сосредоточенной силой на свободном конце:

$$\varepsilon_{\text{теор}} = \frac{M}{E \cdot W} = \frac{6 \cdot P \cdot l_x}{E \cdot t^2 \cdot b_x}, \quad (4)$$

где P - действующая на конец консоли сосредоточенная сила;
 t - толщина консоли, определяемая с точностью 0,01 мм;
 l_x/b_x - постоянное для данной консоли отношение, в котором
 l_x - расстояние от точки приложения силы P до любого сечения шириной b_x .

Величина относительной деформации балки в зоне чистого изгиба

$$\varepsilon_{\text{теор}} = \frac{12 \cdot t}{(3 \cdot l^2 - 4 \cdot a^2)} \cdot f, \quad (5)$$

где f - прогиб балки в середине пролета от сосредоточенного груза, измеряемый индикатором часового типа с ценой деления 0,01 мм;
 l - величина пролета балки между опорами;
 a - расстояние от опоры до места приложения силы;

Методика выполнения работы.

1. Определить размеры опорного сечения балки, расстояние от опорного сечения до точки подвеса груза, массу штучных грузов.
2. Вычислить величины краевых напряжений и относительных деформаций в сечении при подвешивании одного груза

$$\sigma = \frac{M_x}{W_x}, \quad (6)$$

где $W_x = b_x \cdot t^2 / 6$ - момент сопротивления сечения консоли.

Относительные деформации вычисляют по вышеприведенным формулам (4) или (5).

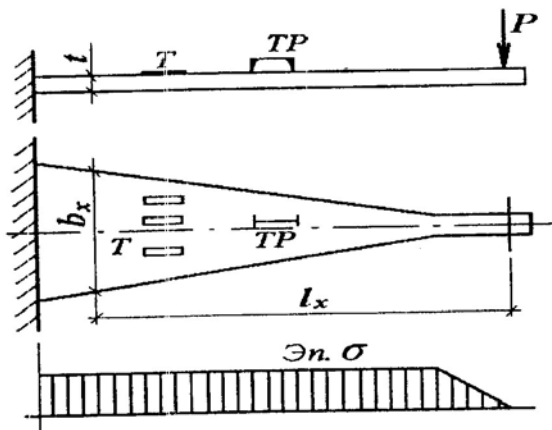


Рисунок 3 - Тарировочное устройство - консоль равного сопротивления:
 Т - проволочные тензорезисторы, ТР - рычажный тензометр

3. Подключить к регистрирующему прибору внешний полумост, состоящий из тарируемых тензорезисторов и компенсационного сопротивления.

4. Установить на тарировочное устройство рычажный тензометр (ТР) с помощью струбцины.

5. Записать в журнал нулевые отсчеты по шкале рычажного тензометра и по шкале измерительного устройства.

6. Провести 2-3 цикла загрузки и разгрузки консоли (балки) взвешенными грузами, снимая отсчеты по приборам и занося их в журнал испытаний. Нагружение тарировочного устройства производить таким образом, чтобы краевые напряжения в сечениях не превышали 100 - 150 МПа.

Таблица 1 – журнал испытаний

ЖУРНАЛ ИСПЫТАНИЙ

№№ п/п	Нагрузка	Тензорезисторы								Рычажный тензометр	
		Т-1		Т-2		Т-3		Т-4		ТР	
		отсчет	ΔС	отсчет	ΔС	отсчет	ΔС	отсчет	ΔС	отсчет	ΔС
1											
2											
-											
n											

Обработка результатов испытаний.

1. Вычислить разности отсчетов по приборам

$$\Delta C = C_{n+1} - C_n, \quad (7)$$

где C_{n+1} - отсчет после приложения очередной ступени нагрузки;

C_n - отсчет до ее приложения.

2. Определить деформации, полученные экспериментально, для этого вначале необходимо определить средние значения разностей отсчетов по циклам измерений и по испытанию в целом.

$$\Delta C_{cp.} = \frac{\sum \Delta C}{n}, \quad (8)$$

$$e_{эксп} = \Delta C_{cp.} \cdot k, \quad (9)$$

где n - число ступеней нагружения и разгрузки;

$\sum \Delta C$ - сумма всех разностей;

k - цена деления шкалы регистрирующего прибора.

3. Найти коэффициент точности шкалы рычажного тензометра,

$$K = \frac{\Delta \varepsilon}{\Delta C_{cp.}}, \quad (10)$$

где $\Delta \varepsilon$ - приращение относительной деформации в балке при подвешивании одного груза.

4. Определить коэффициент тензочувствительности проволочного тензорезистора,

$$K = \frac{\Delta C_{cp.}}{\Delta \varepsilon} \cdot C_{Д}, \quad (11)$$

где $C_{Д}$ - цена деления шкалы регистрирующего прибора.

5. Записать полученные данные в журнал и сравнить их с паспортными характеристиками приборов.

Литература.

[1, С. 103-107, 109-111]; [2, С. 21-39, 70-72]; [8, С. 6-52]; [11, С. 115-136]

Контрольные вопросы:

1. С какой целью проводится периодическая поверка приборов.
2. Как определить поправочный коэффициент шкалы прибора?
3. В чем состоит суть поверки тензорезисторов?
4. Всегда ли нужно тарировать тензорезисторы?
5. Каковы принципиальные схемы тензометрических станций с использованием моста Уитстона?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА В КОНСТРУКЦИЯХ
НЕРАЗРУШАЮЩИМИ МЕТОДАМИ**

Цель работы:

Освоить методику определения прочности бетона в конструкциях с использованием приборов: ОМШ-1 работающего по принципу измерения энергии упругого отскока, ИПС-МГ4.03 методом ударного импульса по ГОСТ 22690-2015, Оникс-ОС методом отрыва со скалыванием в соответствии с ГОСТ 22690-2015.

Обеспечение:

Склерометр ОМШ-1; ИПС-МГ4.03; Оникс-ОС; железобетонные конструкции; бетонные кубы с ребром 100 мм изготовленные из того же бетона; тарировочный график; гидравлический пресс усилием до 1000 КПа, ГОСТ 22690-2015 [9], ГОСТ 26633-2012 [14].

Описание приборов и приспособлений:

1. Принцип действия склерометра ОМШ-1 основан на ударе с нормированной энергией удара бойка о поверхность бетона и измерении высоты его отскока (Н) в условных единицах прибора, являющейся косвенной характеристики прочности бетона на сжатие.

Общий вид прибора приведен на рисунке 4. Устройство склерометра приведено на рисунке 5.

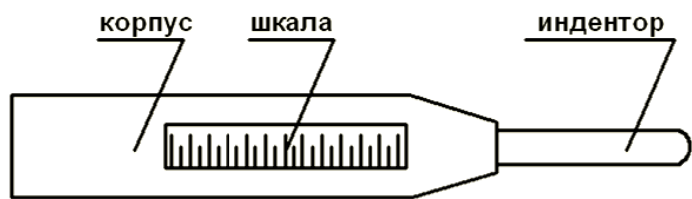


Рисунок 4 - Общий вид склерометра ОМШ-1

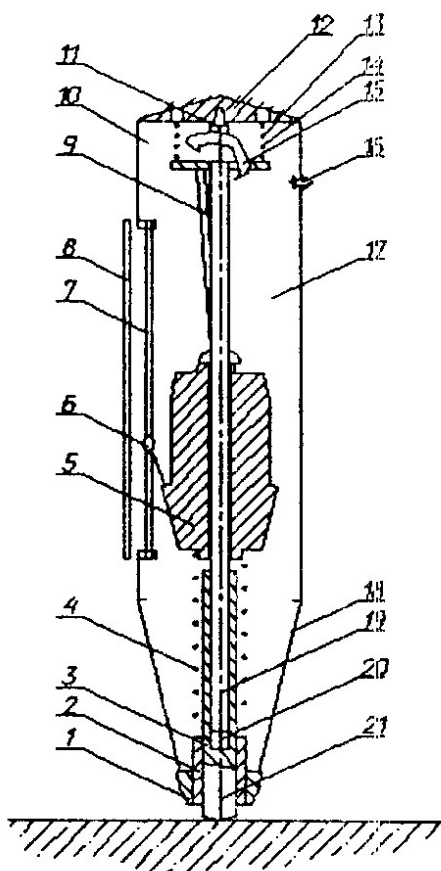


Рисунок 5 - Устройство склерометра

В корпусе склерометра, состоящем из цилиндрической (17), конической (18) частей, на рисунке 5, смонтированы пружинный ударный механизм, содержащий съемный индентор (21), цангу (19), боек (5), держатель (10) с собачкой (15), рабочую (4), возвратную (13) и демпферную (20) пружины, и узел отсчета показаний склерометра в виде бегунка (6), который перемещается в пазе корпуса (17) вдоль шкалы (8) по скалке (7) и служит для фиксации высоты отскока бойка, стопор (16) служит для фиксации выполненного замера.

Прочность бетона определяют по тарировочному графику (рис.10) по зависимости между величиной отскока и прочностью на сжатие заранее установленной путем параллельных испытаний контрольных кубов бетона склерометром в прессе по ГОСТ 10180-90.

2. Прибор ИПС-МГ4.03 предназначен для определения прочности бетона, раствора и строительной керамики методом ударного импульса в соответствии с ГОСТ 22690. Прибор позволяет также оценивать физико-механические свойства строительных материалов в образцах и изделиях (прочность, твердость, упруго-пластические свойства), выявлять неоднородности, зоны плохого уплотнения и др.

Область применения прибора – контроль прочности бетона на предприятиях стройиндустрии и объектах строительства, а также при обследовании эксплуатируемых зданий и сооружений.

Диапазон рабочих температур от минус 10⁰С до плюс 40⁰С, относительная влажность воздуха до 80%, атмосферное давление от 630 до 800 мм РТ. Ст.

Конструктивно прибор выполнен в виде двух блоков (рисунок 6):

- блока электронного;
- склерометра (преобразователя).

На лицевой панели блока электронного размещены графический индикатор и клавиатура, предназначенная для управления прибором.



Рисунок 6 - Общий вид прибора ИПС-МГ4.03

3. Принцип работы прибора Оникс-ОС заключается в измерении усилия вырыва анкера из бетона.

В процессе нагружения пресси усилие растет до экстремального значения и после вырыва фрагмента бетона падает до нуля. Электронный блок автоматически отслеживает процесс нагружения и запоминает экстремальные точки этого процесса.



Рисунок 7 - Общий вид прибора Оникс-ОС

Прибор состоит из электронного блока и гидравлического пресси. Электронный блок (рисунок 7) имеет на лицевой панели 9-ти клавишную клавиатуру и графический дисплей. В верхней торцевой части корпуса установлен разъем для подключения гидравлического пресси с первичным силоизмерителем.

Гидравлический пресси (рисунок 8) имеет корпус 1, в котором смонтированы поршневой насос с рукояткой привода 2 и рабочие гидроцилиндры 3, совмещенные с опорами 4, 5; механизм натяжения анкера, включающий тягу 6 и штурвал 7, и датчик 8 силы вырыва анкерного устройства.

Анкерное устройство (рисунок 9) состоит из трех сегментов и тяги с конической рабочей поверхностью и резьбовым хвостиком.

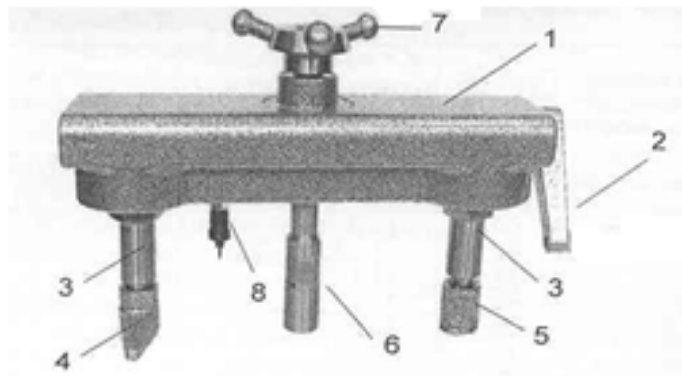


Рисунок 8 - Гидравлический пресс



Рисунок 9 - Анкерное устройство

Порядок выполнения работы

1. Склерометр

1.1. Легким нажатием пальцем или ладонью на сферический конец индентора (18), см. рисунок 5, привести склерометр в исходное состояние.

При этом бегунок (6) должен встать на нулевую отметку с погрешностью в две условные единицы (одно деление).

1.2. Выбрать места испытания согласно **ГОСТ 22690.0-77, 22690-2015**.

1.3. Установить склерометр в выбранную точку испытываемой поверхности перпендикулярно к ней, следя чтобы отклонение от прямого угла не превышали 4 мм на высоте 100 мм. Удерживая склерометр за корпус двумя руками так, чтобы один палец находился у стопора (16).

1.4. Нанести удар. Для этого плавно сдвинуть склерометр к поверхности изделия до удара, не отводя склерометр от поверхности, нажать пальцем на кнопку стопора (16), фиксируя положение бегунка после удара.

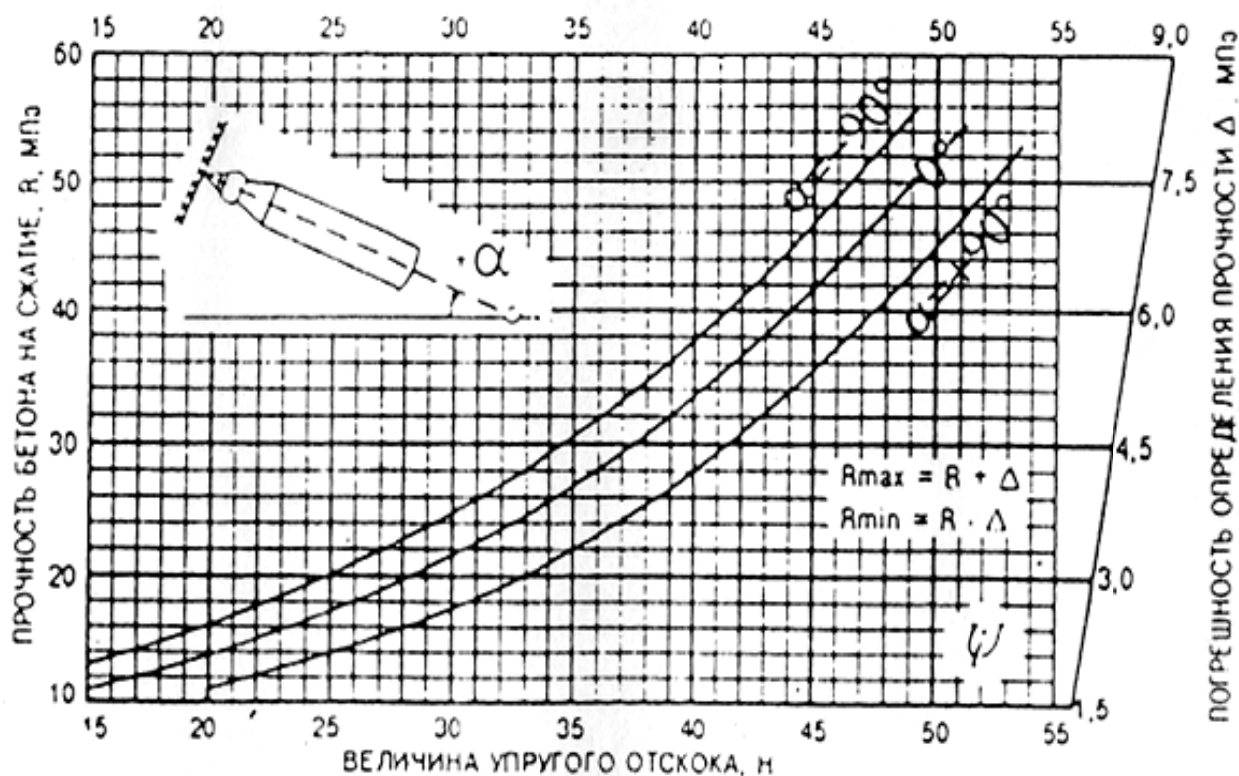


Рисунок 10 - Тарировочный график зависимости прочности бетона на сжатие от величины отскока

1.5. Поднять склерометр и определить по шкале высоту отскока с точностью до единицы (0,5 деления шкалы). Записать показания в таблицу.

1.6. Выполнить 10÷12 ударов, вычислить среднюю величину отскока и тарировочному графику определить прочность бетона на сжатие.

2. Прибор ИПС-МГ4.03.

2.1. Подключить склерометр к электронному блоку. Включить питание, прибор установить в режим измерений.

2.2. Выбрать вид бетона и крупного заполнителя (тяжелый бетон на граните, тяжелый бетон на известняке, тяжелый бетон на гравии, тяжелый бетон на граншлаке, мелкозернистый бетон, керамзитобетон, шлакопемзобетон, кирпич силикатный, кирпич керамический).

2.3. Выбрать предполагаемый возраст контролируемого бетона – 7, 28, 100 суток для бетона нормального твердения, или 1, 28, 100 суток для бетона, подвергнутого термической обработке.

2.4. Выбрать направление удара (↓ → ↗)

2.5. Выбрать тип изделия (балка, колонна, фундаментный блок, стяжка, наружная стена, внутренняя стена, плита, ригель, ферма, полы, свая).

На дисплее появится результат, например:



2.6. Удерживая склерометр в правой руке, взвести рычаг бойка до фиксации защелкой. Расположить склерометр таким образом, чтобы усилие прикладывалось перпендикулярно испытываемой поверхности изделия. Склерометр должен опираться на три точки.

2.7. Нажать спусковой крючок, полученный результат высвечивается на индикаторе и запоминается для дальнейшей обработки.

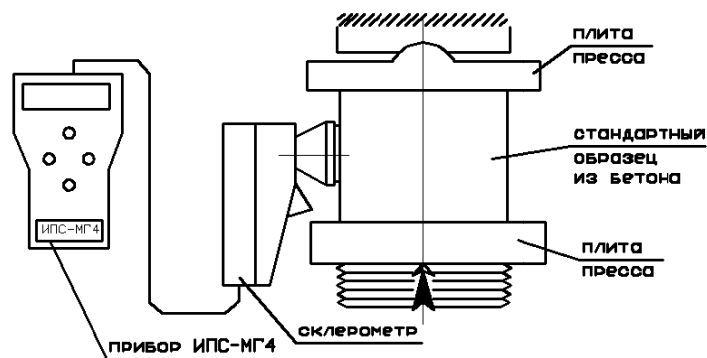


Рисунок 11 -Определение прочности бетона кубика

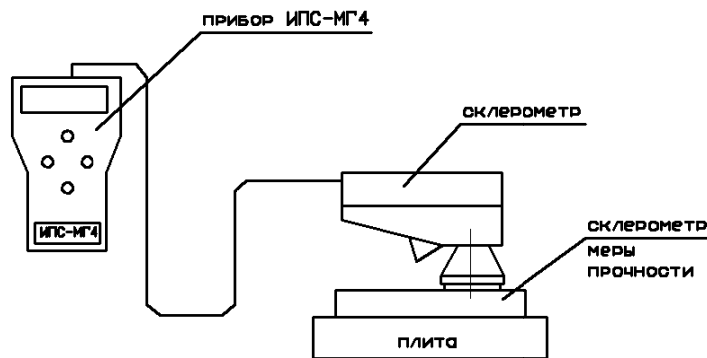
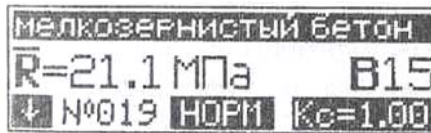


Рисунок 12 -Определение прочности бетона конструкции

Цикл измерения на одном участке состоит из 10...15 замеров, производится автоматическая обработка результата. На индикаторе высвечивается конечный результат, например:



3. Прибор Оникс-ОС.

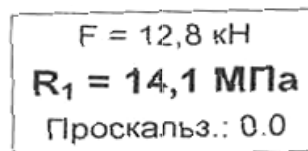
3.1 Подсоединить к электронному блоку кабель датчика силы, расположенного на гидравлическом прессе.

3.2. Включить питание прибора.

3.3. Выполнить установку режимов работы:

- 1-Выбрать вид материала: бетон тяжелый, бетон легкий или другой.
- 2-Установить размер анкера по глубине заделки (25, 30, 35, 48 мм) и диаметру.
- 3-Вид твердения: нормальное или тепловая обработка.
- 4-Ожидаемое значение прочности: ≤ 50 или > 50 МПа.
- 5- Размер крупного заполнителя: ≤ 50 или > 50 мм;
- 6-Установить ручной или автоматический режим измерений и др.

3.4 Произвести нагружение анкера до контрольного усилия или до отрыва фрагмента бетона. После отрыва фрагмента бетона на дисплее появится результат, например:



3.5 Последовательно выполнить заданную серию измерений.

4. Провести стандартные испытания кубов на прессе и вычислить действительные значения прочности бетона $R_{\text{контр}}$.

5. Сопоставить полученные величины прочности бетона в результате испытания кубиков с прочностью бетона полученными при испытании приборами и оценить погрешность склерометра.

Литература

[1.С.88-89]; [2, С. 170-177]; [3, С.109-119]; [9]; [11]; [12]; [14]; [15].

Контрольные вопросы:

1. В каких случаях приходится прибегать к определению физико-механических свойств материалов непосредственно в сооружении?
2. Какие приемы и приборы применяются для определения качества бетона непосредственно в сооружениях и при лабораторных испытаниях?

3. Как получить градуировочную кривую для склерометра?
4. Сколько измерений необходимо производить для получения достоверных данных о прочности бетона с помощью приборов?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4.

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ИМПУЛЬСНЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА МАТЕРИАЛОВ В КОНСТРУКЦИЯХ

Цель работы:

Освоить методику проведения ультразвуковых испытаний строительных материалов и ознакомиться с работой соответствующего оборудования; определить динамические модули упругости для различных материалов: бетона, кирпича, полимербетона, алюминиевого сплава, стали; определить прочность бетона; определить наличие дефектов в железобетонной конструкции методом сквозного прозвучивания и методом продольного профилирования при доступе с одной стороны.

Обеспечение:

Ультразвуковой импульсный прибор «Пульсар – 1.1»; бетонные образцы и кубы с ребрами 200 или 150 мм, изготовленные из того же бетона; образцы из разных строительных материалов; гидравлический пресс с усилием до 1000 кН.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

Ультразвуковой импульсный метод использует в своей основе взаимосвязь между параметрами ультразвуковых колебаний и физико-механическими свойствами среды. Ультразвуком называют механические колебания с частотой свыше 20000 Гц, которые распространяются в жидких и твердых средах с постоянной скоростью. Скорость прохождения ультразвуковых колебаний (УЗК) зависит от свойств исследуемого материала и определяется по формуле 12:

$$V = \frac{l}{t} \quad (12)$$

где l - база прозвучивания, измеряемая с точностью 0,5 %;

t - время прохождения сигнала на базе прозвучивания в микросекундах.

На рисунке13 приведен рисунок прибора для ультразвуковых испытаний строительных конструкций «Пульсар – 1.1». Работа прибора основана на измерении времени прохождения ультразвукового импульса в материале изделия от излучателя к приемнику. Прибор состоит из: электронного блока, имеющего на лицевой панели 9-ти клавишную клавиатуру и графический дисплей.



Рисунок 13 - Пульсар – 1.1

1 – вход подключения приемного преобразователя; 2 – выход подключения излучающего преобразователя; 3 – разъем для визуализации принимаемого УЗ-сигнала на экране осциллографа.

Скорость распространения ультразвуковой волны в материале зависит от его плотности и упругости, от наличия дефектов (трещин и пустот), определяющих прочность и качество. Следовательно, прозвучивая элементы изделий можно получать информацию о:

- прочности и однородности;
- модуле упругости и плотности;
- наличию дефектов и локализации.

В зависимости от условий испытания и вида конструкции применяют одностороннее или сквозное прозвучивание продольными, поперечными или поверхностными волнами (рисунок14).

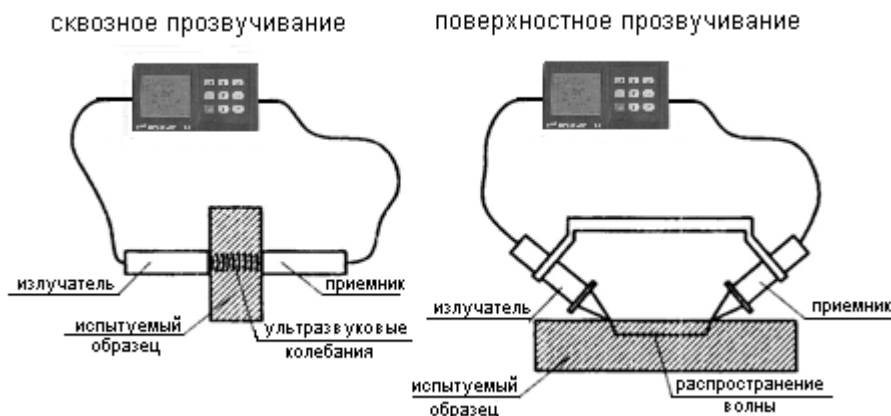


Рисунок 14 - Схема ультразвуковых испытаний строительных конструкций

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Подготовка прибора к работе.

1. Подсоединить к прибору датчики (приемник и излучатель). Включить прибор.
2. Установить режим работы: сквозное прозвучивание, поверхностное прозвучивание или измерение глубины трещины.
3. Задать базу измерения.
4. Выбрать вид материала и его состав: бетон (тяжелый, легкий); кирпич (керамический, силикатный); абразивы; другое.
5. Выбрать измеряемый параметр: прочность R , плотность ρ , модуль упругости E , звуковой индекс C (только для абразивов).
6. Установить период импульсов от 0,2 до 1 сек.
7. Установить датчик на контролируемый объект обоими преобразователями перпендикулярно поверхности изделия и прижать с усилием 5 – 10 кг, удерживать датчик на объекте в течение 10 – 30 секунд.
8. Повторить измерения на других участках объекта.
9. При измерении трещины в режиме измерения на дисплее рисуется схема установки датчиков. Для выполнения измерений установить датчики как указано на схеме. Провести измерения.

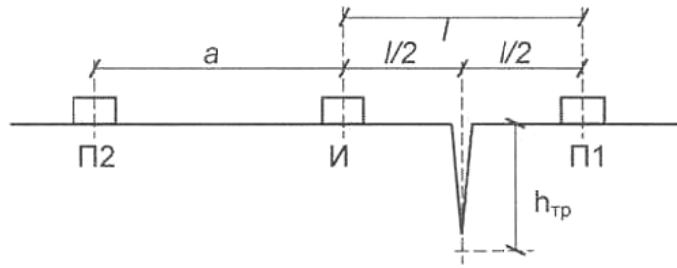


Рисунок 15 - Схема установки датчиков

Порядок выполнения работы

1. Определить динамические модули упругости материалов.

Скорость (V) распространения ультразвуковых волн и динамический модуль упругости (E_d) материала связаны между собой зависимостью

$$V = \sqrt{\frac{E_d}{\rho \cdot k}} \text{ или } E_d = V^2 \cdot \rho \cdot k. \quad (13)$$

Здесь, ρ - акустическая плотность среды, $\text{кг} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^4$

$$\rho = \frac{U \cdot \gamma}{g}, \quad (14)$$

где γ - плотность материала, $\text{кг}/\text{м}^3$;

g - ускорение силы тяжести, $\text{м}/\text{с}^2$;

k - коэффициент, зависящий от вида образца:

$k = 1$ для стержня и балки при $l/d > 5$, для пластин $k = 1 - \mu^2$, для объемного тела:

$$k = (1 + \mu) \cdot (1 + 2\mu) / (1 - \mu), \quad (15)$$

где l - длина стержня, м;

$\lambda = V/f$ - длина волны ультразвукового колебания, м;

f - частота колебаний, с^{-1} ;

μ - коэффициент Пуассона.

Для определения модуля упругости целесообразно применять образцы стержневой формы из различных материалов. Источник УЗК и приемник располагают на противоположных сторонах образца (рисунок 14) и измеряют время прохождения сигнала. Линейкой измеряют базу прозвучивания (l) с

точностью до 1 мм и по формуле (1) находят скорость распространения УЗК. Измерения повторяют 3-4 раза. Результаты измерений заносит в табл. 2.

Таблица 2

Ведомость определения динамического модуля упругости
строительных материалов

Материал	Габариты, см	Плотность, кг/м ³	База прозвучивания, см	Время прохождения, мкс	Скорость, см/мкс	Модуль упругости, МПа
Бетон						
Кирпич глиняный						
Кирпич силикатный						
Алюминиевый сплав						
Сталь						
Древесина	вдоль волокон					
	поперек волокон					

По формуле (13) вычисляют значения модулей упругости материалов.

2. Определить прочность бетона.

Прочность бетона в образце или конструкции зависит от физических свойств бетона, так, например, на рисунке 16 представлена зависимость прочности бетона при сжатии от модуля упругости.

Прочность бетона может быть также определена по скорости распространения УЗК и градуировочным графикам или таблицам.

Градуировочные графики "скорость УЗК - прочность бетона" получают по результатам параллельных испытаний одних и тех же образцов с помощью ультразвука и стандартными методами до разрушения.

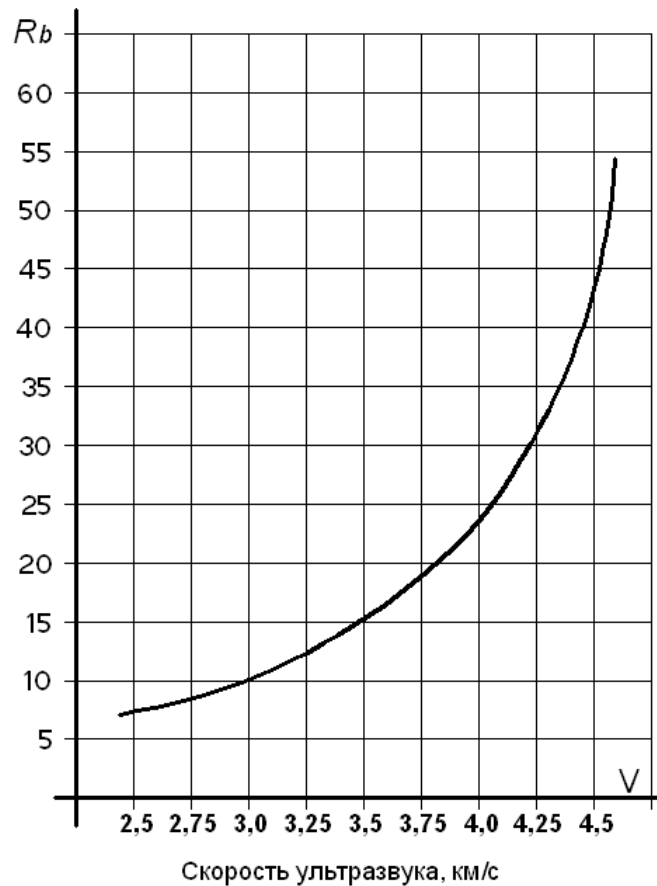


Рисунок 16 - Градуировочная кривая для определения прочности бетона на сжатие по скорости распространения УЗК

К поверхностям исследуемой конструкции присоединяют источник и приемник УЗК и определяют время t прохождения УЗК через образец на базе прозвучивания 1 (рисунок 14). По формуле (12) определяют скорость прохождения УЗК.

Результаты измерений заносят в табл. 3.

Таблица 3

Ведомость определения прочности бетона ультразвуковым импульсным методом

№ испытания	Размер образца Lxbxh, м	База прозвучивания L, м	Время прохождения УЗК, $t \cdot 10^{-6}$ с	Скорость УЗК V, м/с	Прочность при сжатии R _b , МПа

3. Определить дефекты в бетонной конструкции методом сквозного прозвучивания

Для дефектоскопии методом сквозного прозвучивания на противоположных сторонах конструкции наносят прямоугольную координатную сетку со стороной квадрата 10, 20 или 50 см, в зависимости от размеров дефекта. Сетку размечают так, чтобы линии, соединяющие узлы на двух противоположных гранях, были перпендикулярны плоскости прозвучивания (рисунок 18). На рисунке 17 обозначены: 1 - исследуемый образец; 2 - дефект (каверна); 3 - источник УЗК; 4 - места установки приемника УЗК; 5 - приемник УЗК; 6 - координатная сетка; 7 - линии равных скоростей.

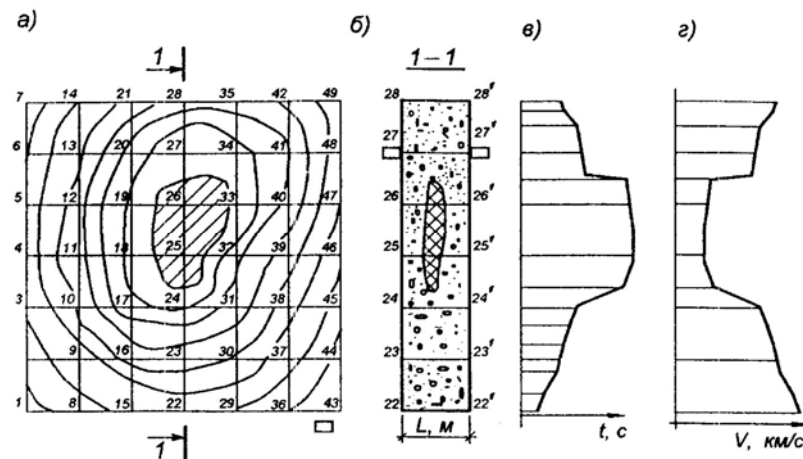


Рисунок 17 - Схема обнаружения дефекта (каверны) в бетоне методом сквозного прозвучивания:

- а - координатная сетка; б - график времени прохождения УЗК в бетоне;
- в - график скорости УЗК в бетоне.

Последовательно прозвучивая конструкцию по узлам сетки и измеряя базы L , определяют скорости V УЗК. Результаты измерений заносят в табл. 3. Если толщина элемента одинакова, то можно измерять только время t прохождения сигнала. Сравнивая значения скоростей или времени, строят линии равных скоростей или изохроны, и находят участки с аномальными значениями.

Таблица 4

Ведомость определения дефекта методом сквозного прозвучивания

Точка прозвучивания, п	Время прохождения сигнала t , мкс	База прозвучивания L , см	Скорость УЗК V км/с.	Вывод о наличии дефекта

4. Определить дефекты в бетонной конструкции методом годографа или продольного профилирования.

Метод продольного профилирования применяется при одностороннем доступе к конструкции и особенно эффективен при дефектоскопии дорожных плит, монолитных плит перекрытий, фундаментов и т.п. Схема дефектоскопии методом продольного профилирования дана на рисунке 18.

При исследованиях излучатель УЗК (1) устанавливается на исследуемый образец (2) неподвижно, а приемник (3) последовательно переставляют по одной линии в точки с постоянным шагом ΔX .

После каждой перестановки определяется время t прохождения сигнала и заносится в табл. 4.

Таблица 4

Ведомость определения дефекта методом годографа

Точка прозвучивания, n	База прозвучивания L , см	Время прохождения УЗК t , микросек.
1	10	
2	20	
3	30	
-		
n		

На участках, где дефекты отсутствуют, график (годограф скорости) 5 (рисунок 18) представлен прямой линией. Искривление годографа на каком-либо участке свидетельствует о нарушении пропорциональности и наличии поверхностного дефекта 4.

5. После проведения эксперимента необходимо выявить места расположения дефектов, дать их характеристику и обозначить на схеме конструкции.

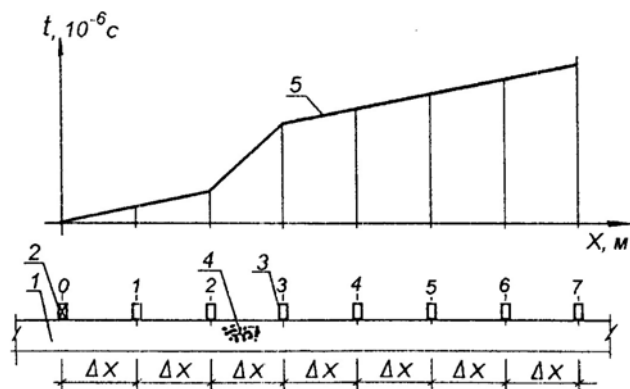


Рисунок 18 - Схема дефектоскопии методом продольного профилирования (голографа): 1- исследуемый образец; 2 – источник УЗК; 3 – перемещаемый приемник УЗК; 4 – дефектный участок; 5 – график изменения времени прохождения сигнала.

ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

В отчете должны быть приведены: цель и задачи работы; схемы испытаний образцов; данные экспериментальных замеров в ведомостях испытаний; графики; схемы конструкций с обозначением выявленных дефектов и их характеристикой.

В выводах по работе необходимо оценить точность выполненных исследований и возможности ее повышения.

Литература.

[1]; [2]; [7]; [13]; [16].

Контрольные вопросы:

1. С какими характеристиками бетона связана скорость прохождения через него ультразвукового сигнала?
2. Каковы положительные и отрицательные стороны сквозного и поверхностного прозвучивания бетонных конструкций?
3. Каким образом строится градуировочная кривая зависимости прочности от скорости УЗК?
4. Какие способы определения поверхностных и глубинных дефектов в конструкциях Вы знаете?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИАМЕТРА АРМАТУРЫ И ТОЛЩИНЫ ЗАЩИТНОГО СЛОЯ БЕТОНА В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

Цель работы: освоить методику работы с измерителем защитного слоя ИПА-МГ4.01; определить расположение, диаметр арматуры и толщину защитного слоя бетона в железобетонных конструкциях.

Материалы и инструменты: фрагмент железобетонной конструкции; прибор ИПА-МГ4.01; диэлектрическая прокладка толщиной 20 мм.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ

Электромагнитный метод определения толщины защитного слоя бетона и расположения арматуры в железобетонных конструкциях регламентирован ГОСТ 22904-78 и основан на регистрации изменений характеристик электромагнитного поля (создаваемого специальным преобразователем), вызванных наличием в бетоне стального арматурного стержня.

Прибор ИПА-МГ4.01 предназначен для оперативного производственного контроля толщины защитного слоя бетона и расположения арматуры в железобетонных изделиях и конструкциях магнитным методом в соответствии с ГОСТ 22904-93.



Рисунок 19 - Общий вид ИПА-МГ4.01
ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Порядок работы в режиме измерения защитного слоя бетона «Н»:

а) подготовить прибор к работе:

- подготовить кабель преобразователя к прибору с помощью соединительного разъема. Удалить преобразователь от металлических предметов на расстояние не менее 500мм и включить питание прибора.

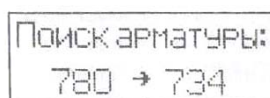
- нажатием кнопки **ВВОД** возбудить мигание класса арматуры и кнопками \uparrow установить требуемый (ВР-I, А-I, А-III, или И1...И9) и зафиксировать выбор кнопкой **ВВОД**, при этом мигающее поле перемещается на тип контролируемого изделия.

- кнопками \uparrow \downarrow и **ВВОД** выбрать тип изделия, после чего мигающее поле перемещается на диаметр контролируемой арматуры.

- кнопками \uparrow , \downarrow и **ВВОД** установить требуемый диаметр.

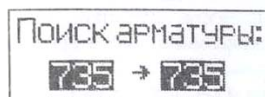
б) определить ось арматурного стержня, для чего установить преобразователь на поверхности контролируемого изделия, нажать и удерживать, кнопку **ИЗМЕРЕНИЕ** и, плавно перемещая преобразователь из стороны в сторону, поворачивая вокруг вертикальной оси, добиться минимального значения цифрового кода в правой части дисплея и максимального уровня звукового сигнала, при этом дальнейшее перемещение преобразователя не влияет на изменение цифрового кода.

Вид дисплея при фиксации минимального цифрового кода в правой его части:

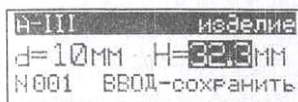


Затем, обращая внимание на цифровой код в левой части дисплея, продолжить перемещение преобразователя до тех пор, пока цифровые коды не совпадут. При этом ось преобразователя совпадет с осью арматурного стержня.

Вид дисплея в момент совпадения оси преобразователя с осью арматурного стержня:



в) по окончании измерения отпустить кнопку **ИЗМЕРЕНИЕ**, при этом на дисплее высвечивается значение измеренного защитного слоя «Н» и введенные ранее значения класса, диаметра арматуры «d» и типа изделия. Дисплей при этом имеет вид, например:



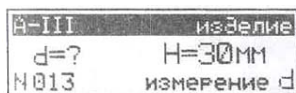
Результаты измерений занести в табл.5.

2. *Порядок работы при определении диаметра арматуры «d»:*

а) подготовить прибор к работе:

- подготовить кабель преобразователя к прибору с помощью соединительного разъема. Удалить преобразователь от металлических предметов на расстояние не менее 500мм и включить питание прибора.

б) нажатием кнопки *d/h* перевести прибор в режим определения диаметра арматуры, после чего дисплей имеет вид, например:

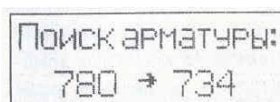


Для измерения значений класса арматуры, типа изделия и защитного слоя «Н», необходимо нажатием кнопки **ВВОД** возбудить мигание класса арматуры, затем, кнопками

↑ ↓ , и **ВВОД** установить требуемый класс (например А-III), тип изделия и величину защитного слоя бетона (например, 34мм).

в) выполнить измерение: установить преобразователь на поверхность контролируемого изделия, нажать и удерживать кнопку **ИЗМЕРЕНИЕ** и, плавно перемещая преобразователь из стороны в сторону, поворачивая вокруг вертикальной оси, добиться минимального значения цифрового кода в правой части дисплея и максимального уровня звукового сигнала, при этом дальнейшее перемещение преобразователя не влияет на изменение цифрового кода.

Вид дисплея при фиксации минимального цифрового кода в правой его части:



Затем, обращая внимание на цифровой код в левой части дисплея, продолжить перемещение преобразователя до тех пор, пока цифровые коды не совпадут. При этом ось преобразователя совпадет с осью арматурного стержня.

Вид дисплея в момент совпадения оси преобразователя с осью арматурного стержня:



г) по окончании измерения отпустить кнопку **ИЗМЕРЕНИЕ**, при этом на дисплее высвечивается значение диаметра «**d**», а также введенные ранее значения класса арматуры, защитного слоя «**H**» и тип изделия.

Дисплей при этом имеет вид, например:



Результаты измерений занести в табл.6.

3. Определить схему армирования железобетонного элемента:

- а) накрыть исследуемый образец листом чистой бумаги и закрепить его;
- б) перемещая преобразователь по поверхности фрагмента и поворачивая его вокруг своей оси, найти минимальные показания прибора. При этом арматурный стержень располагается под центрами узких сторон преобразователя, отмеченных рисками, соединив которые, получим линию, показывающую положение стержня.

Обследовав всю поверхность фрагмента, составить и нанести на бумагу схему армирования.

Таблица 5

Ведомость определения величины защитного слоя бетона

Диаметр арматуры d, мм	Толщина защитного слоя_бетона a _s , мм

Таблица 6

Ведомость определения диаметров арматурных стержней

Диаметр арматуры d , мм, по прибору	Отсчет, мм		Разница отсчетов $h_n - h_0$	Вывод
	Без прокладки h_0	С прокладкой h_n		
Ø4				
Ø5				
Ø6				
Ø8				
Ø10				

По данным измерений составить окончательную схему армирования фрагмента конструкции.

Литература.

[10]

Контрольные вопросы:

1. Как влияет на показания прибора расстояние между арматурными стержнями?
2. В чем заключается основной принцип работы прибора?
3. Для чего под преобразователем устанавливается пластина из диэлектрика?
4. Как определяют толщину защитного слоя бетона, диаметр и расположение арматуры?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №6

ДИНАМИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ КОНСОЛЬНОЙ БАЛКИ В РЕЖИМЕ СВОБОДНЫХ КОЛЕБАНИИ

Цель работы.

Ознакомиться с методами экспериментального определения динамических характеристик конструкции:

- а) частоты свободных колебаний,
- б) логарифмического декремента затухания колебаний.

Описание приспособлений и установки.

В работе используется заземленная одним концом прокатная балка (швеллер № 8). На свободном конце установлен виброграф ВР-1. Запись колебаний производится относительно неподвижного корпуса прибора. Общий вид установки приведен на рисунке 20.

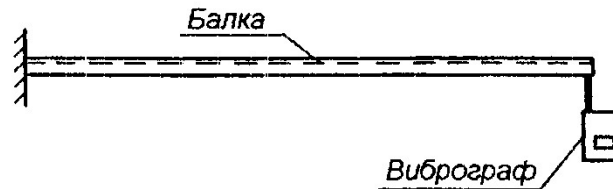


Рисунок 20 - Общий вид балки для испытания динамической нагрузкой

Основные определения.

Свободными или собственными называют колебания, которые совершает система, выведенная из состояния равновесия после прекращения действия на нее возмущающих сил. С течением времени свободные колебания затухают, поскольку сообщенная внешняя энергия расходуется на преодоление внешних и внутренних сопротивлений. Характерная виброграмма свободных колебаний представлена на рисунке 21.

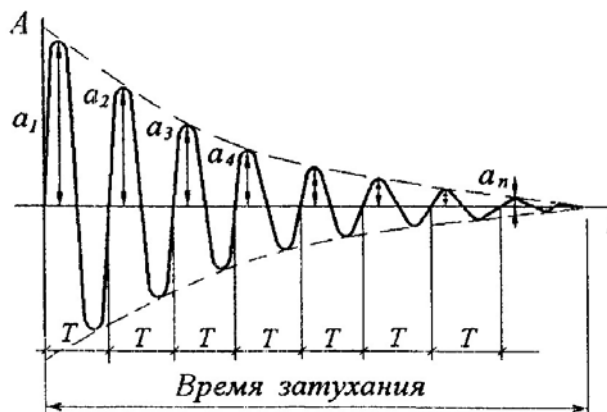


Рисунок 21 - Виброграмма свободных колебаний

Скорость затухания свободных колебаний характеризует логарифмический декремент затухания колебаний, который определяется по формуле

$$\delta = \ln \frac{a_m}{a_{m+1}}, \quad (16)$$

где a_m и a_{m+1} – величины двух следующих друг за другом амплитуд в затухающей виброграмме свободных колебаний.

Порядок проведения работы.

1) Определить основные геометрические характеристики консольной балки (A , J , l) и вычислить теоретические значения частоты собственных колебаний (Гц) балки, заземленной одним концом.

$$f_{теор.} = \frac{l}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot E \cdot J}{m_{пр.} \cdot l^3}}, \quad (17)$$

где l – длина балки;

EJ – изгибная жесткость балки;

$m_{пр.} = 0,243 \cdot m_l \cdot l$ – масса балки, приведенная к свободному концу (m_l – погонная масса балки, кг/м).

2) Включить лентопротяжный механизм вибрографа одновременно с включением секундомера.

3) Коротким ударом вывести балку из состояния равновесия и записать виброграмму до полного успокоения пера.

4) Выключить лентопротяжный механизм вибрографа и секундомер.

5) Запись виброграммы повторить 3-4 раза.

Обработка результатов измерений.

Объектом обработки являются полученные во время выполнения работы виброграммы (рисунок 22).

1) Выбрать участок виброграммы с плавно убывающей амплитудой и выделить на нем целое число (n) волн.

2) С помощью масштабной линейки измерить длину (l_1) выделенного участка виброграммы.

3) На линии временных отметок, построенных по секундомеру, измерить длину (l_2), соответствующую i секундам.

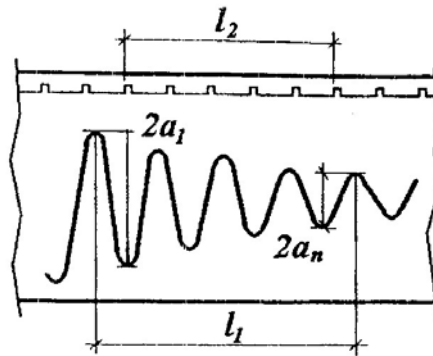


Рисунок 22 - Образец записанной виброграммы

4) Определить частоту свободных колебаний из соотношения

$$f_{\text{эксн.}} = n \cdot \frac{i \cdot l_1}{l_2} \quad (18)$$

5) Измерить удвоенные амплитуды первого ($2a_1$) и последнего ($2a_n$) колебаний на выбранном участке виброграммы.

6) Найти значение логарифмического декремента затухания колебаний

$$\delta = \frac{1}{n-1} \cdot \ln \frac{2a_1}{2a_n} \quad (19)$$

7) Результаты измерений записать в журнал испытаний и вычислить средние значения частоты колебаний и логарифмического декремента затухания колебаний по всем испытаниям.

8) Определить конструктивный коэффициент системы сравнением экспериментально измеренной частоты колебаний с ее теоретическим значением

$$K = \frac{f_{\text{эксн.}}}{f_{\text{теор.}}} \quad (20)$$

9) Объяснить возможные причины отклонения конструктивного коэффициента от единицы.

Литература.

[1, С. 137-143, 165-180]; [2, С. 205-245]; [4, С. 126-160]; [5, С. 159-168]; [11, С. 35-37, 282-287].

Контрольные вопросы:

1. В каких случаях прибегают к динамическим испытаниям конструкций?
2. Назовите основные параметры колебательного процесса конструкции при динамических испытаниях. Как определяются эти характеристики экспериментальным путем?
3. Как расшифровываются виброграммы?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Основная

1. Долидзе Д.Е. Испытание конструкций и сооружений. – М.: Высш. Школа, 1975.-252с.
2. Золотухин Ю.Д. Испытание строительных конструкций. – Минск: Высш.школа, 1983.-208с.
3. Лещинский М.Ю. Испытание бетона. Справочное пособие.- М.: Стройиздат, 1980. -360 с.
4. Джонс Р., Фэкзоару И. Неразрушающие методы испытаний бетонов. – М.: Стройиздат, 1974. – 296 с.
5. Гордон А.Э., Никулин Л.И., Тихонов А.Ф. Автоматизация контроля качества изделий из бетона и железобетона. – М.: Стройиздат, 1991. – 300с.
6. Аронов Р.И. Испытание сооружений.–М.: Высш. школа, 1974.–187с.
7. Лужин О.В. и др. Обследование и испытание сооружений. – М.: Стройиздат, 1987. – 263 с.
8. Бабаков И.М. Теория колебаний. – М.: Наука, 1968. – 560 с.

Нормативная

9. ГОСТ 22690-2015. Бетоны. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля.
10. ГОСТ 22904-93. Конструкции железобетонные. Магнитный метод определения толщины защитного слоя и расположения арматуры.
11. ГОСТ 5802-86. Растворы строительные. Методы испытаний.
12. ГОСТ 10180-2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам.
13. ГОСТ 17624-2012. Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности.
14. ГОСТ 26633-2012. Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия.
15. ГОСТ 28570-90. Бетоны. Методы определения прочности по образцам, отобраным из конструкций.
16. СП 13-102-2003. Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. – М.: Госстрой России, ГУП ЦПП, 2003. – 48 с. ГОСТ
17. РД 22-01.97. Требования к проведению оценки безопасности эксплуатации производственных зданий и сооружений поднадзорных промышленных производств и объектов (обследования строительных конструкций специализированными организациями).