

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(МГСУ)

Кафедра «Испытания сооружений»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ
ПО КУРСУ «ОБСЛЕДОВАНИЕ И ИСПЫТАНИЕ
ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ»

Для студентов направления
653500 Строительство

специальностей

270102 «Промышленное и гражданское строительство»
270114 «Проектирование зданий »

М о с к в а 2011

СОСТАВИТЕЛИ:

Проф., канд. тех. наук, зав. каф., науч. рук.	Ю.С. Кунин
Проф., канд. тех. наук	Л.А. Бондарович
Проф., канд. тех. наук	И.А. Горбунов
Зав.лабораторией, инженер	А.В. Ивличев
Ст.преподаватель, инженер	М.Н.Атаров
Ст.преподаватель, инженер	П.Ю Шульгин.

Рецензент

Проф, канд. тех. наук	В.Н. Свиридов
-----------------------	---------------

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания составлены в соответствии с программой дисциплины «Обследование, реконструкция и испытания зданий и сооружений» для высших учебных заведений.

Целью методических указаний является ознакомление студентов с экспериментальными методами оценки напряженно-деформированного состояния элементов строительных конструкций и сооружений, а так же с практическим применением неразрушающих методов контроля качества строительных конструкций.

Для каждой из лабораторных работ приведены краткие сведения о применяемых приборах и устройствах, указан порядок выполнения работы и обработки результатов измерений, сформулированы контрольные вопросы и темы учебно-исследовательских работ.

Дополнением к методическим указаниям является выпущенный кафедрой журнал лабораторных работ, в который студенты заносят результаты выполненных измерений.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

ТЕНЗОРЕЗИСТОРНЫЙ МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАТЕРИАЛА КОНСТРУКЦИЙ

I. Цели и задачи работы

Цель работы – исследование напряженно-деформированного состояния материала тензорезисторным методом.

Лабораторная работа выполняется в два этапа:

- 1) определение коэффициента тензочувствительности тензорезисторов (градуировка тензорезисторов);
- 2) определение напряженно-деформированного состояния модели пластины из оргстекла, заземленной по одной из сторон.

II. Краткие теоретические сведения

Тензорезистор – это первичный преобразователь, предназначенный для измерения деформаций. Принцип работы тензорезисторов основан на свойстве проводниковых или полупроводниковых материалов изменять омическое сопротивление при его деформировании. Это свойство называется тензоэффектом.

Важнейшей характеристикой тензорезисторов является коэффициент тензочувствительности k_T , который представляет собой отношение относительного изменения сопротивления к его относительной деформации.

$$K_T = \frac{\Delta R / R}{\Delta l / l}, \text{ где:}$$

$\Delta R / R$ – относительное изменение сопротивления;

$\Delta l / l$ – относительное изменение деформации;

K_T – коэффициент тензочувствительности.

Тензорезисторы изготавливают из материалов с высоким удельным сопротивлением. Для тензосплавов k_T изменяется от -12 до +6,5, а для полупроводников от 150 до 200.

Наибольшее распространение получили петлевые проволочные тензорезисторы. Петлевой проволочный тензорезистор (рис. 1) представляет собой несколько петель микропровода, прикрепленных клеем к пленочной или бумажной основе (подложке), являющейся диэлектриком.

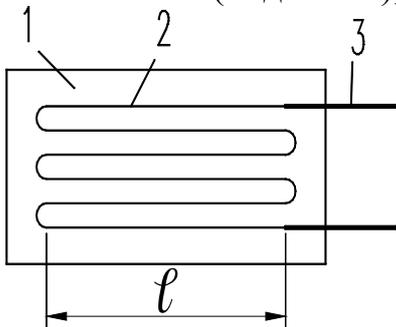


Рис. 1.1. Схема петлевого проволочного тензорезистора

1 – основа тензорезистора;

2 – микропровод (тензочувствительный элемент);

3 – контактные провода (медные);

l – база тензорезистора.

Микропровод, используемых в лабораторной работе тензорезисторов, выполнен из константана (сплав меди и никеля), диаметром 12-30мкм. База таких тензорезисторов – от 5 до 100мм. К достоинствам петлевых проволочных тензорезисторов следует отнести простоту подготовки к проведению эксперимента, значительный диапазон баз, возможность использования в широком диапазоне температур, (от -200° до +100°) и др., к недостаткам – наличие поперечной чувствительности (частичное изменение сопротивления тензорезистора, при его деформировании в поперечном направлении).

В целях уменьшения погрешностей от поперечной чувствительности были разработаны беспетлевые (решетчатые) проволочные тензорезисторы (см. Рис. 1.2)

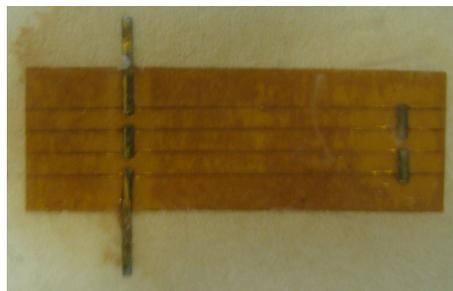
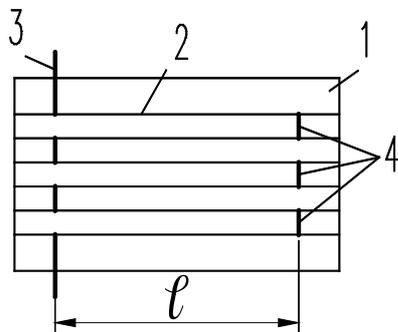


Рис. 1.2. Схема беспетлевого проволочного тензорезистора

1 – основа тензорезистора;

2 – микропровод (тензочувствительный элемент);

3 – контактные провода;

4 – медные перемычки;

l – база тензорезистора.

К достоинствам беспетлевых проволочных тензорезисторов следует отнести низкую поперечную чувствительность.

Наиболее универсальными являются фольговые тензорезисторы, которые выполняются из тонкой тензофольги толщиной 2-5мкм фотолитографским способом.

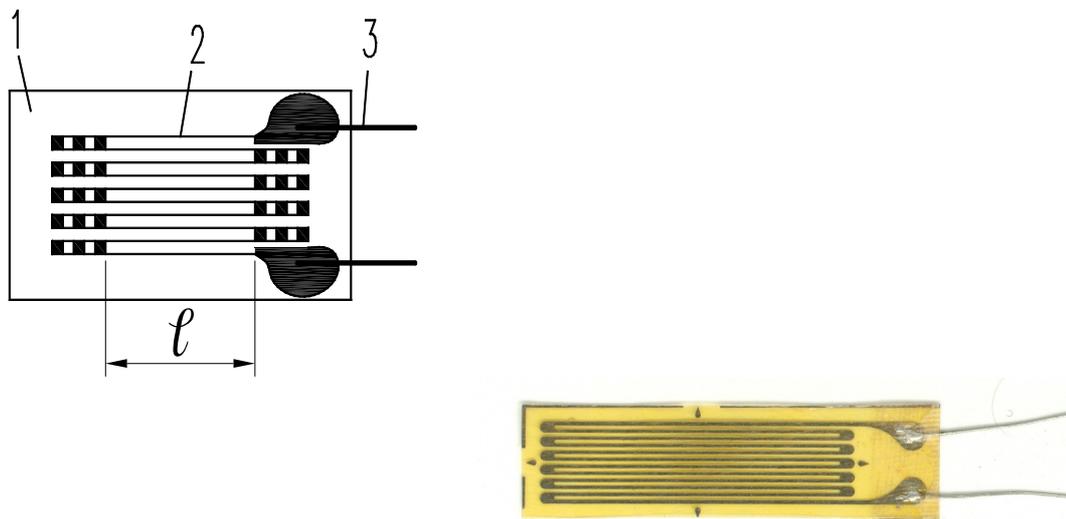


Рис. 1.3. Схема фольгового тензорезистора

1 – основа тензорезистора;

2 – микропровод (тензочувствительный элемент);

3 – контактные провода;

l – база тензорезистора.

В качестве подложки у таких тензорезисторов используется пленочная или бумажная основа. Достоинства – низкая поперечная чувствительность; высокая технологичность изготовления; возможность получения тензорешетки любой формы, возможность изготовления тензорезисторов практически любой базы (от 0,2 до 100мм), измерение деформаций в зонах с высоким градиентом на малых базах, измерение больших пластических деформаций, деформаций как при статических, повторных, так и при высоких скоростях нагружения.

Полупроводниковые тензорезисторы изготавливаются путем электрической резки монокристаллов германия, кремния, висмута и др. В основном полупроводниковые тензорезисторы имеют следующие размеры: толщина 0,01-0,02мм, ширина 0,5-1,0мм, длина 2-15мм.

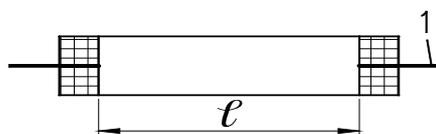


Рис. 1.4. Схема полупроводникового тензорезистора

1 – контактные провода;

l – база тензорезистора.

К достоинствам таких тензорезисторов следует отнести высокую тензочувствительность ($k_T = 150-200$), К недостаткам – зависимость коэффициента тензочувствительности от температуры и деформации, а также высокую хрупкость и измерение относительно малых деформаций. Указанные недостатки определяют область применения таких тензорезисторов, как чувствительных элементов специальных преобразователей (датчиков) усилий, давлений, динамических перемещений.

Для определения значения коэффициента тензочувствительности проволочные и фольговые тензорезисторы подвергают градуировке. Тензорезисторы тарируют выборочно 5-7% из партии.

Градуировка производится с помощью упругих элементов, деформации которых определяются аналитически, а изменение сопротивления тензорезисторов – экспериментально.

$$k_T = \frac{\Delta R / R}{\varepsilon_z}$$

В качестве эталонного упругого элемента, обеспечивающего деформирование тензорезисторов, используется консоль равного сопротивления или балка с зоной чистого изгиба (см.Рис.1.5).

Ширина консоли равного сопротивления увеличивается от свободного края к заделке линейно. Так как изгибающий момент M_x от силы F также возрастает линейно, то деформации на поверхности консоли по всей ее длине будут постоянны и могут быть определены по формуле:

$$\varepsilon_z = \frac{\sigma_z}{E} = \frac{6PL}{EBh^2};$$

Где, применимо к градуировочной балке:

P - величина приложенной силы;

L - длина градуировочной балки;

B - ширина балки в заделке;

h - толщина балки;

E - модуль упругости материала балки.

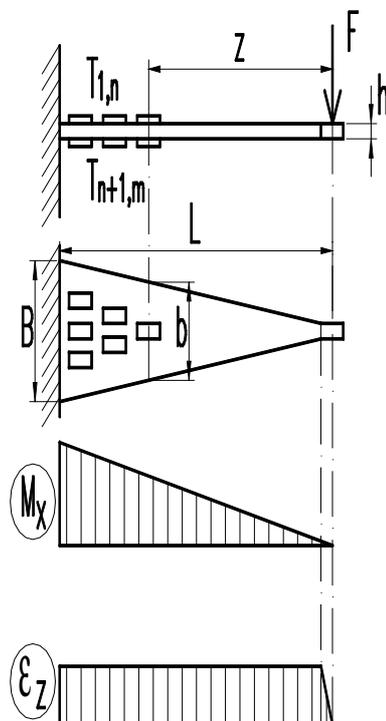


Рис. 1.5. Схема консольной балки равного сопротивления.

Балка с зоной чистого изгиба также имеет участок, где деформации по длине балки постоянны и рассчитываются по формуле: $\varepsilon_z = \frac{12h}{3 \cdot L^2 - 12 \cdot a \cdot (L - a)} \cdot \Delta f$,

где h - толщина градуировочной балки;

L - длина балки;
 a - расстояния от опоры балки до точки приложения нагрузки;
 Δ - прогиб балки в середине пролета.

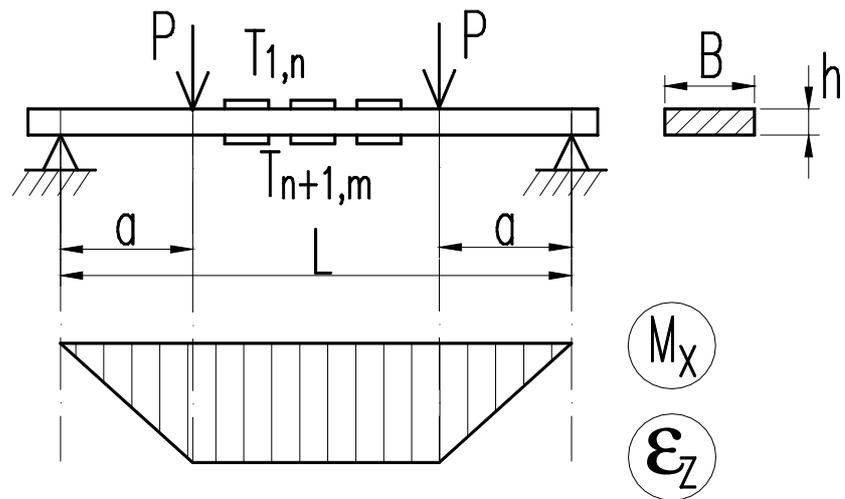


Рис. 1.6. Схема балки с зоной чистого изгиба.

Осредненное по результатам испытаний значение коэффициента тензочувствительности k_T присваивается всей партии.

Использование тензорезисторов для определения величины и направления главных деформаций

Для определения направления и величины главных деформаций используются специализированные тензорозетки (рис. 1.7 и 1.8). Тензорозетка состоит из нескольких тензорезисторов, смонтированных компактно вблизи исследуемой точки конструкции. Измеренные деформации на выбранной базе тензорезисторов считаются равномерными.

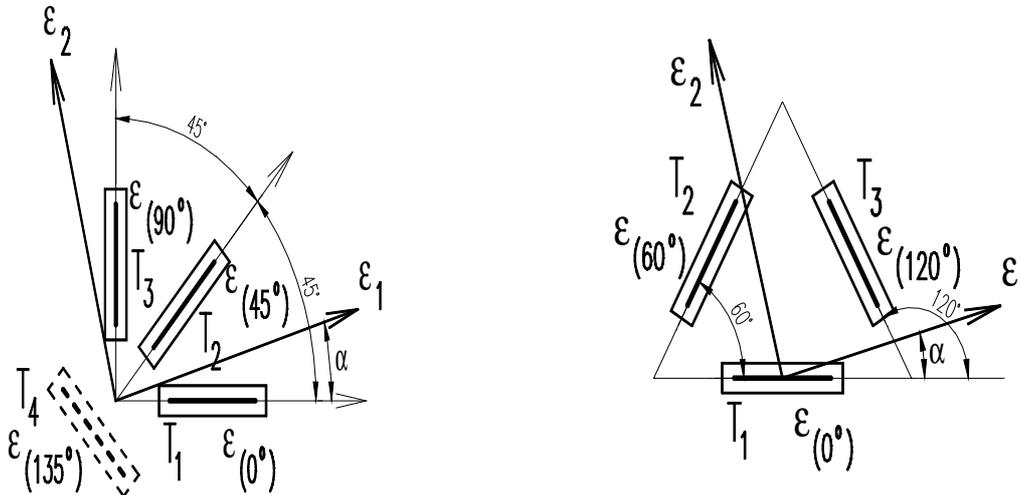


Рис. 1.7 Прямоугольная тензорозетка Рис. 1.8. Равноугольная тензорозетка

Широкое распространение получили тензорозетки двух типов: прямоугольная (Рис. 1.7) и равноугольная (дельта-розетка) (Рис. 1.8). В прямоугольной тензорозетке тензорезисторы расположены под углом 45° и 90° друг к другу. По измеренным компонентам ϵ_{0° , ϵ_{45° , ϵ_{90° угол наклона главных площадок и значения главных деформаций вычисляются по формулам:

$$\alpha = \frac{\arctg\left(\frac{2\epsilon_{45^\circ} - (\epsilon_{0^\circ} + \epsilon_{90^\circ})}{\epsilon_{0^\circ} - \epsilon_{90^\circ}}\right)}{2}; \quad \epsilon_{1,2} = \frac{1}{2}\left(\epsilon_{0^\circ} + \epsilon_{90^\circ} \pm \frac{\epsilon_{0^\circ} - \epsilon_{90^\circ}}{\cos 2\alpha}\right);$$

В дельта-розетке углы между осями тензорезисторов составляют соответственно 0° , 60° , и 120° . Главные деформации и направление главных осей определяют по формулам:

$$\alpha = \frac{\arctg\left(\frac{\sqrt{3} \cdot (\epsilon_{120^\circ} - \epsilon_{60^\circ})}{2\epsilon_{0^\circ} - \epsilon_{60^\circ} - \epsilon_{120^\circ}}\right)}{2}$$

$$\epsilon_{1,2} = \frac{\epsilon_{0^\circ} + \epsilon_{60^\circ} + \epsilon_{120^\circ}}{3} \pm \frac{\sqrt{2} \cdot \sqrt{(\epsilon_{0^\circ} - \epsilon_{60^\circ})^2 + (\epsilon_{60^\circ} - \epsilon_{120^\circ})^2 + (\epsilon_{120^\circ} - \epsilon_{0^\circ})^2}}{3}$$

В упругой области переход от главных деформаций к главным напряжениям осуществляется на основании закона Гука для плоского напряженного состояния: $\sigma_1 = \frac{E}{1-\mu^2}(\epsilon_1 + \mu \cdot \epsilon_2)$; $\sigma_2 = \frac{E}{1-\mu^2}(\epsilon_2 + \mu \cdot \epsilon_1)$

III. Оборудование и приборы

При определении коэффициента тензочувствительности используется консольная балка равного сопротивления, имеющая следующие параметры:

$$E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}; \quad \frac{L}{B} = 11,5; \quad h = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Измерения относительного сопротивления $\Delta R/R$ проводятся с помощью цифрового тензометрического моста (прибор СИИТ-3) (рис. 1.9, 1.10).

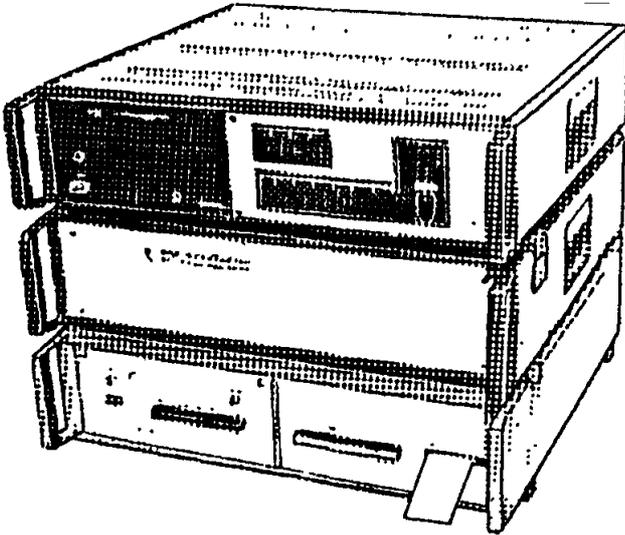


Рис. 1.9. Общий вид прибора СИИТ-3.

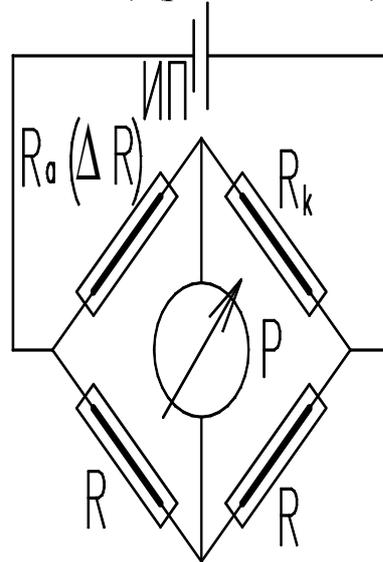


Рис. 1.10. Упрощенная схема тензометрического моста:

R – внутреннее сопротивление плеч моста; R_a – активный тензорезистор;
 R_k – компенсационный тензорезистор (для компенсации изменения температуры во время эксперимента);
 P – регистрирующее устройство; ИП – источник питания.

В недеформированном состоянии активного тензорезистора, по цифровому табло или с помощью цифропечатающего устройства (ЦПУ) снимается начальный отсчет. Деформирование тензорезистора вызывает изменение его сопротивления и увеличение разбаланса моста: прибор показывает вторичный результат. Разность показаний, умноженная на цену деления прибора, позволяет определить относительное изменение сопротивления тензорезистора $\frac{\Delta R}{R}$.

Компенсационный тензорезистор аналогичен активному, но наклеен на недеформируемый образец, который изготовлен из того же материала, что и исследуемая конструкция. Этот образец размещен вблизи конструкции, что дает возможность устранить влияние изменений температуры на показания активных тензорезисторов.

Исследование напряженно-деформированного состояния материала в настоящей лабораторной работе проводится на пластине из оргстекла, закрепленной консольно. На пластине наклеены прямоугольные тензорозетки, и имеются крючки, для приложения нагрузки. Схема используемой в работе пластины приведена на Рис.1.11

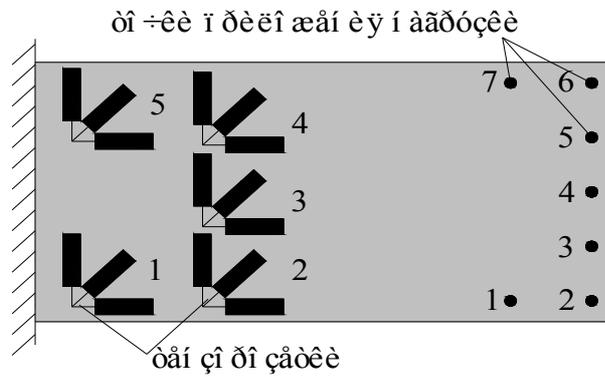


Рис.1.11 Модель пластины из оргстекла

IV. Порядок выполнения работы и обработка результатов

1. Провести градуировку тензорезисторов: Консоль равно сопротивления нагружается силой F . Производится 2-3 цикла приложения нагрузки. На каждом этапе регистрируются показания тензорезисторов. Результаты измерений заносятся в табл. 1 в следующем порядке:

1) $\delta_{j,i}$ - отсчет по прибору для тензорезистора j на этапе i нагружения;

2) $\Delta_{j,i} = \left| \delta_{j,i} - \delta_{j,(i-1)} \right|$ - абсолютная величина разности отсчетов;

3) $\Delta_{j,cp} = \frac{\sum_{i=1}^k \Delta_{j,i}}{k}$; где k - число подсчитанных величин разности отсчетов;

4) $\Delta_{cp} = \frac{\sum_{j=1}^n \Delta_{j,cp}}{n}$; где n - количество тензорезисторов

5) $\frac{\Delta R}{R}_{cp} = \Delta_{cp} \cdot C$, где C - цена деления прибора в единицах относительного изменения сопротивления; $C = 4 \cdot 10^{-6}$;

6) $\varepsilon = \frac{6 \cdot F \cdot L}{E \cdot h^2 \cdot B}$ - относительная линейная деформация консоли равно сопротивления от нагрузки F

7) $k_T = \frac{(\Delta R/R)_{cp}}{\varepsilon}$ - коэффициент тензочувствительности тензорезисторов;

8) $\Delta_{cp} - \Delta_{j,cp}$; 9) $(\Delta_{cp} - \Delta_{j,cp})^2$;

10) $S_{k_T} = \frac{\sum_{i=1}^n (\Delta_{cp} - \Delta_{j,cp})^2}{n-1}$ - среднеквадратическое отклонение;

11) $\nu_{k_T} = \frac{\sqrt{S_{k_T}}}{\Delta_{cp}}$ - коэффициент вариации результатов измерений.

Таблица 1

Нагрузка	Отсчеты по тензорезисторам							
	1		2		3		4	
	$\square_{1,i}$	$\square_{1,i}$	$\square_{2,i}$	$\square_{2,i}$	$\square_{3,i}$	$\square_{3,i}$	$\square_{4,i}$	$\square_{4,i}$
0								
F=10 Н								
2F=20 Н								
F=10 Н								
0								
$\square_{j,cp}$								
$\square_{cp}-\square_{j,cp}$								
$(\square_{cp}-\square_{j,cp})^2$								
$\Delta_{cp} =$				$\frac{\Delta R}{R_{cp}} =$				
$\varepsilon =$				$k_T =$				
$S_{k_T} =$				$\nu_{k_T} =$				

2. Определить напряженно-деформированное состояние пластины из оргстекла в точке, заданной преподавателем, при загрузке пластины. Результаты занести в таблицу 2.

1) Записать показания по прибору без нагрузки по трем направлениям тензорозетки

2) Записать показания по прибору с нагрузкой в заданной точке по трем направлениям тензорозетки

3) Определить по формулам направление главных площадок α , величину главных деформаций ε_1 , ε_2 и величину главных напряжений σ_1 и σ_2 .

Таблица 2

Нагрузка	Тензорезисторы					
	Г 0°		Г 45°		Г 90°	
	Отсчет по прибору	Разность отсчетов \square	Отсчет по прибору	Разность отсчетов \square	Отсчет по прибору	Разность отсчетов \square
F=0						
F=10 Н						
$\varepsilon = \frac{\Delta \cdot C}{k_T}$						

Контрольные вопросы

1. Что такое тензорезистор?
2. Как определяется коэффициент тензочувствительности?
3. Как работает тензометрический мост?
4. Для чего предназначен компенсационный тензорезистор?
5. Почему градуировка тензорезисторов проводится на консоли равного сопротивления или на балке с зоной чистого изгиба?
6. Для чего используется тензорозетка?
7. Что такое база тензорезистора и почему тензорезисторы промышленного изготовления имеют различные базы?

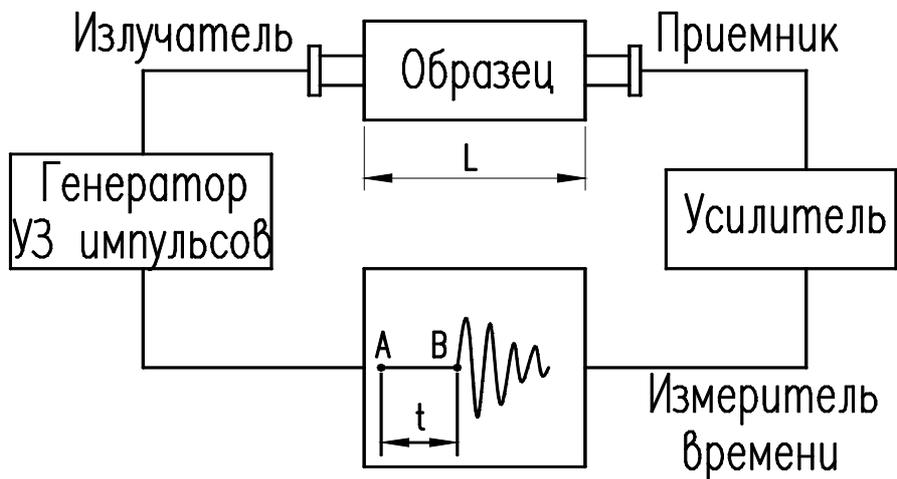


Рис. 2.2 Блок-схема прибора для ультразвуковых испытаний

Генератор вырабатывает электрический сигнал, который усиливается и по высокочастотному кабелю подается на преобразователь (излучатель). Преобразователь преобразует электрический сигнал в механические колебания.

Механический ультразвуковой импульс через слой акустической контактной смазки (меловой пасты, пластилина и т.п.) или с помощью специального волновода передается объекту испытаний и в нем распространяется со скоростью, величину которой необходимо определить.

После прохождения механического импульса через образец он, вновь пересекая слой контактной смазки, попадает на приемник, превращается в электрический импульс и усиливается усилителем приема. На цифровом индикаторе указывается время прохождения импульса через образец.

Излучатели и приемники могут быть пьезоэлектрическими и магнитострикционными.

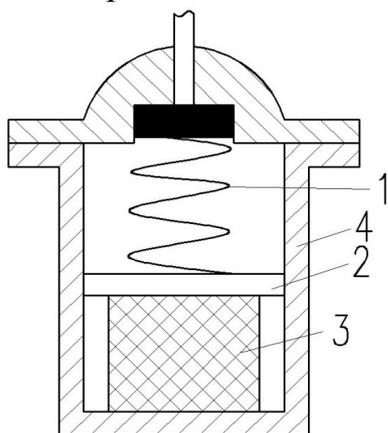


Рис. 2.3 Пьезоэлектрический преобразователь

- 1 – пружина;
- 2 – прокладка;
- 3 – материал обладающий пьезоэффектом;
- 4 – корпус

Пьезоэлектрический преобразователь состоит из металлического корпуса, внутри которого располагается материал обладающий пьезоэлектрическим эффектом (кристаллы кварца, сегнетова соль и пр.). Кристалл, преобразующий электрическую энергию в механическую и наоборот приклеивается или прижимается к прокладке с помощью пружины.

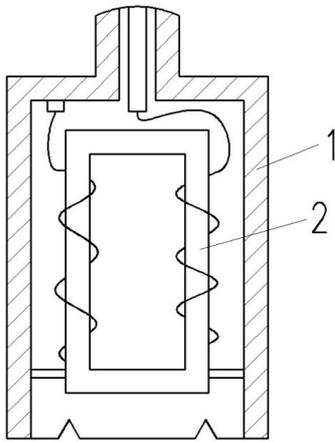


Рис .2.4 Магнитострикционный преобразователь

1 – корпус;

2 – магнитостриктор.

Магнитостриктор собирается из тонких изолированных друг от друга пластинок из никеля или другого материала, обладающего под действием магнитного поля возможностью сжиматься или растягиваться. Пакет пластинок помещается в катушку, по которой пропускается переменный электрический ток (излучатель), или возникает переменный электрический ток (приемник).

Для ультразвуковых испытаний могут быть использованы различные виды волн – продольные, поперечные, поверхностные и т.д. Наиболее разработана и часто применяется на практике методика ультразвуковых испытаний продольными волнами. В работе используются продольные волны ультразвука.

III. Оборудование и приборы

В данной лабораторной работе могут использоваться несколько типов приборов, такие как УК-14П, УК-1401, Пульсар или аналогичные приборы.

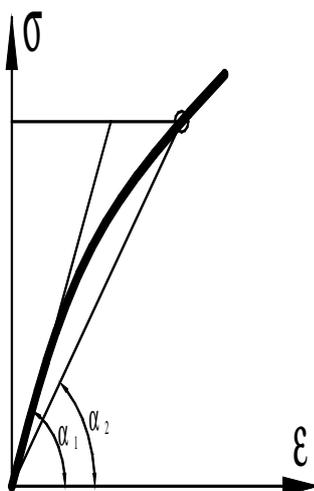


Рис. 2.5 Общий вид прибора УК-14П.

IV. Порядок выполнения работы и обработка результатов

1. Определение динамического модуля упругости материалов.

Динамический модуль упругости $E_{дин}$ определяется при деформациях близких к нулю $\epsilon \rightarrow 0$, т.е. в начале оси абсцисс кривой деформирования материала.



$$\operatorname{tg} \alpha_1 = E_{дин}$$

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = E_{стат}$$

Рис. 2.6 Диаграмма деформирования материала

В общем случае зависимость между скоростью продольных волн ультразвука и модулем упругости среды может быть выражена формулой

$$E_{дин} = V^2 \cdot \rho \cdot \frac{1}{k}, \text{ (МПа)}$$

где $E_{дин}$ - динамический модуль упругости;
 V - скорость ультразвукового импульса;
 ρ - плотность материала;

k - коэффициент формы образца, учитывающий различия в условиях распространения волн при различных соотношениях длины волны λ и размеров поперечного сечения образца. Если $\lambda \geq 2a$, (где a длина наибольшего отрезка, проведенного через сечение), то $k \approx 1$. В остальных случаях коэффициент вычисляется по формулам:

$$k = \frac{1}{1 - \mu_{дин}^2} \text{ - для пластины;}$$

$$k = \frac{1}{(1 + \mu_{дин}) \cdot (1 - 2\mu_{дин})} \text{ - для трехмерного тела,}$$

где $\mu_{дин}$ - динамический коэффициент Пуассона

Для определения модуля упругости материала преобразователи прижимают к торцевым граням образца и измеряют время прохождения УЗК. Измеряют базу прозвучивания L и вычисляют скорость распространения ультразвука. Результаты записывают в табл. 1.

Таблица 1

№ п/п	Наименование материала	База L , м	Время t , 10^{-6} с	Скорость V , м/с	Плотность ρ Н·с ² /м ⁴	$E_{дин}$, МПа
1						
2						

2. Определение прочности бетона. Прочность бетона в образце или конструкции определяется по ранее установленной градуировочной кривой по измеренной скорости ультразвука, типа кривой на рис. 2.7. Результаты заносятся в табл. 2.

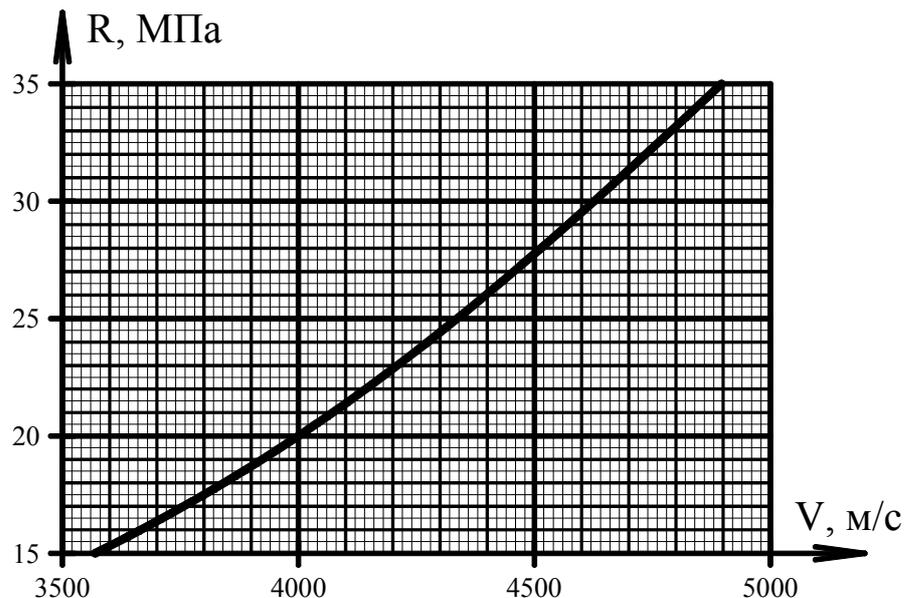


Рис. 2.7. Градуировочная зависимость «скорость УЗК - прочность бетона».

Градуировочная зависимость «скорость ультразвука – прочность бетона» получается по результатам последовательных ультразвуковых неразрушающих и статических разрушающих испытаний образцов кубов из бетона того же состава, что и материал конструкции. Методика построения градуировочных зависимостей приведена в ГОСТ 17624-87.

Таблица 2

№ опыта	База $L, \text{ м}$	Время $t, 10^{-6} \text{ с}$	Скорость, $V, \text{ м/с}$	Прочность $R_i, \text{ МПа}$	$\bar{R} - R_i, \text{ МПа}$	$(\bar{R} - R_i)^2, \text{ МПа}$	$S, \text{ МПа}$	ν	$B^*, \text{ МПа}$	$B, \text{ МПа}$	$R_b, \text{ МПа}$
1											
2											
3											
4											
5											
Выводы о прочности бетона:											

Фактический класс бетона определяют по полученным результатам статистических расчетов с учетом формул:

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n}; \text{-среднее значение прочности бетона, МПа;}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{R} - R_i)^2}{n-1}}; \text{- среднеквадратическое отклонение прочности бетона, МПа;}$$

$$\nu = \frac{S}{\bar{R}}; \text{- коэффициент вариации прочности бетона;}$$

$B^* = \bar{R}(1 - 1,64\nu)$; - фактическая величина, соответствующая классу бетона по прочности на сжатие B , МПа.

B - класс бетона по СП 52-101-2003 (см.Приложение 1);

R_b - расчетное сопротивление бетона по СП 52-101-2003 (см.Приложение 1).

3. Определение дефектов во фрагментах сооружений. В качестве дефектов могут рассматриваться имеющиеся в конструкции или сооружении зоны непровибрированного и неперемешанного бетона, крупные инородные включения, трещиноватые зоны и т.п.

Для определения величины и расположения дефектов применяют два основных метода: сквозное и поверхностное прозвучивание (метод продольного профилирования). Сквозное прозвучивание используется при доступе в конструкции с двух сторон. Если такой доступ невозможен, осуществляют поверхностное прозвучивание.

3.1 Метод сквозного прозвучивания

Работа по дефектоскопии методом сквозного прозвучивания обычно ведется по следующей методике: на противоположные плоскости конструкции наносят прямоугольные координатные сетки со стороной квадрата 10, 20 или 50 см (в зависимости от размера опасного для данной конструкции дефекта). Сетки размечают так, чтобы линии, соединяющие узлы на двух противоположных гранях, были перпендикулярны плоскости прозвучивания (рис. 2.8).

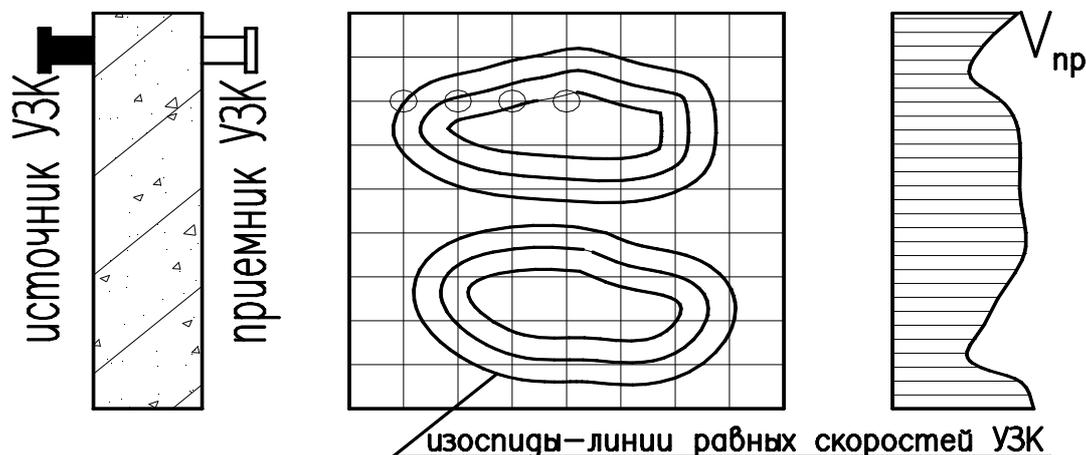


Рис. 2.8. Выявление дефектов при сквозном прозвучивании:

Последовательно прозвучивая конструкцию в каждом створе узлов сетки и измеряя базы, получают значения скоростей ультразвука. В случаях, когда толщина конструкции постоянна, можно упростить задачу испытаний, замеряя только время распространения ультразвука. Наличие дефекта в конструкции определяют, сравнивая значения полученных скоростей (или времени) распространения УЗК.

Результаты измерений времени распространения ультразвука для плиты постоянной толщины, замеренные в узлах сетки, заносятся в табл. 3

Таблица 3

№ точки прозвучивания	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Время прохождения ультразвука t_i , мкс									
База прозвучивания L , м									
Скорость ультразвука V_i , м/с									
Выводы о наличии дефекта и месте его расположения									

3.2. Метод поверхностного прозвучивания (продольного профилирования, годограф скорости)

Ультразвуковая дефектоскопия бетона применяется также при одностороннем доступе и объекту испытаний. Особенно эффективен этот метод

при дефектоскопии дорожных и аэродромных покрытий, фундаментных плит, монолитных плит перекрытий и т.п.

При определении дефектов методом продольного профилирования излучатель устанавливается неподвижно, а приемник последовательно переставляется по линии в точки с постоянным шагом 5-10 см. После каждого перемещения излучателя с помощью прибора определяется время прохождения УЗК.

Глубина, на которой можно определить дефект методом поверхностного прозвучивания составляет $h \leq 1,5 \div 2,0\lambda$

где λ - длина волны ультразвукового импульса, которая зависит от его частоты и скорости прохождения через материал:

$$\lambda = \frac{V}{f},$$

где V - скорость ультразвукового импульса;

f - частота ультразвукового импульса.

Например, при скорости $V = 4000 \text{ м/с}$, и $f = 60 \text{ кГц}$, $\lambda = 6,7 \text{ см}$.

Схема, поясняющая выявление дефекта при поверхностном прозвучивании методом продольного профилирования, представлена на рис. 2.9, из которого видно, что график, называемый годографом скорости, на участках конструкции, где бетон не имеет дефектов или дефектных зон, может быть представлен прямой линией. Искривление годографа на каком-либо участке свидетельствует о несоблюдении условий, при которых наблюдается прямая пропорциональность между базой прозвучивания и временем прохождения ультразвукового импульса.

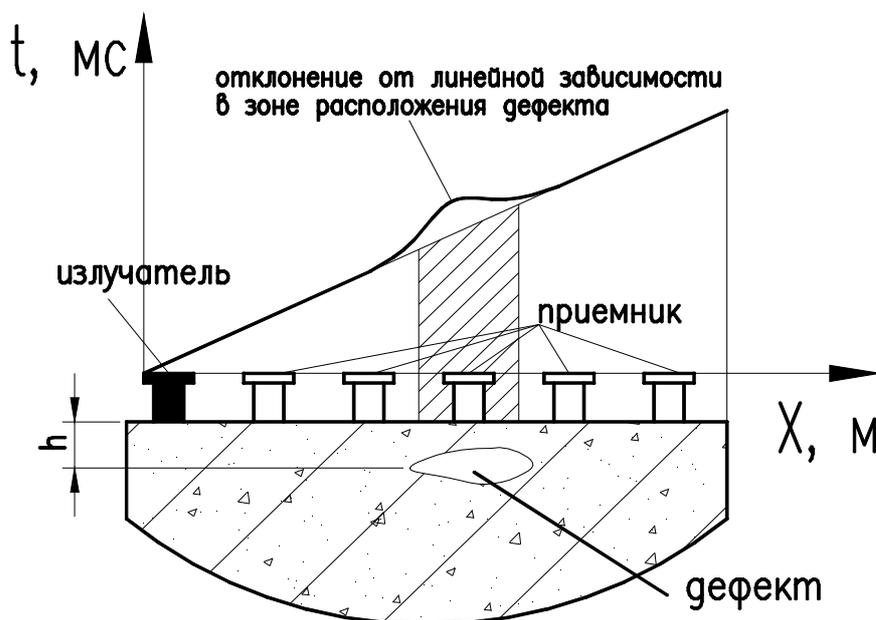


Рис. 2.9. Метод продольного профилирования: сверху – годограф скорости ультразвука; внизу – схема расстановки ультразвуковых излучателя и приемника колебаний

Перед построением годографа результаты измерений записывают в табл. 4.

Таблица 4

№ точки прозвучивания	1	2	3	4	5	6
Время прохождения ультразвука t_i , мкс						
База прозвучивания L , м						
Выводы о наличии дефекта и месте его расположения						

По результатам таблицы 4 строим годограф в осях (X, t), рис. 2.10.

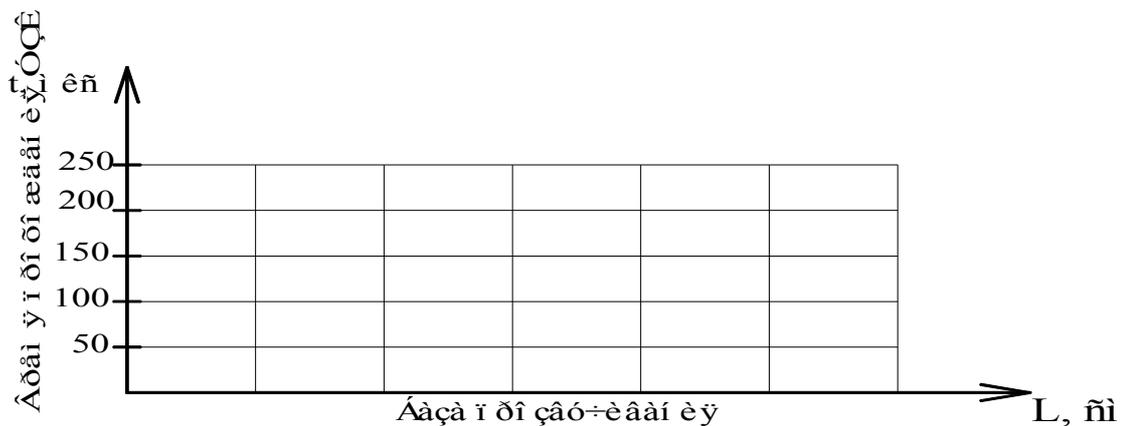


Рис. 2.10. К построению годографа скорости.

Контрольные вопросы

1. Теоретические основы ультразвукового метода определения модуля упругости материалов?
2. К какому виду колебаний относится ультразвук (электромагнитные, механические и т.п.)?
3. Как оценивается прочность бетона по измеренной в нем скорости ультразвука?
4. Как устанавливается градуировочная зависимость «скорость ультразвука – прочность бетона»?
5. По какому принципу можно сделать вывод о наличии дефекта в бетонной конструкции по данным ультразвуковых испытаний при сквозном прозвучивании; поверхностном прозвучивании методом продольного профилирования?
6. В чем заключается принцип работы ультразвукового прибора?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

ОСВИДЕТЕЛЬСТВОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ СООРУЖЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКИ

Цель работы – ознакомление с методикой расчетно-экспериментальной оценки состояния и работоспособности железобетонных элементов сооружения, основанной на применении неразрушающих методов испытаний.

Для выполнения работы необходимо решить следующие задачи:

1. Установить количество параметров неразрушающего контроля, необходимое и достаточное для оценки несущей способности конструкции.
2. Выбрать наиболее эффективные методы и средства неразрушающего контроля.
3. Получить необходимые навыки для работы с аппаратурой и провести соответствующие измерения.
4. Выполнить перерасчет конструкции по действующим нормативным документам, используя полученные экспериментальным путем данные.
5. Дать заключение о состоянии конструкции и возможности ее дальнейшей эксплуатации.

II. Краткие теоретические сведения

Натурные обследования (освидетельствование) представляют собой комплекс мероприятий, позволяющих получить общую объективную оценку технического состояния конструкций, зданий и сооружений на основе выполненных инструментальных измерений. Обследование проводится при приемке строительного объекта в эксплуатацию, при эксплуатации, когда решается вопрос о реконструкции или капитальном ремонте объекта, в аварийных ситуациях и т.п..

Обследование конструкций и сооружений (освидетельствование) включает следующие виды работ:

Ознакомление с объектом обследования, его объемно-планировочным и конструктивным решением, материалами инженерно-геологических изысканий.

Подбор и анализ проектно-технической документации. В случае, когда документация отсутствует, необходимо установить: год возведения объекта; нормы, по которым проектировался объект; характерные схемы конструкции и их особенности, свойственные определенным периодам развития строительной техники; организации, проектировавшие и строившие объект; сведения по аналогичным объектам и конструкциям, на которые есть техническая документация.

При необходимости составляют **программу работ по обследованию**, в которой указывают: цели и задачи обследования; перечень подлежащих обследованию строительных конструкций и их элементов; места и методы инструментальных измерений и испытаний; места вскрытий и отбора проб материалов, исследований образцов в лабораторных условиях; перечень необходимых поверочных расчетов и т.д.

Далее проводят **предварительное визуальное обследование** конструкций зданий. При осмотре выявляются наиболее поврежденные участки конструкции, а также несущие элементы, находящиеся в наиболее неблагоприятных условиях эксплуатации. Визуально оценивается общее

состояние конструкций: наличие увлажненных участков бетона, состояние защитных покрытий, наличие коррозии и т.д. Таким образом, в ходе предварительного осмотра собирается информация, позволяющая уточнить программу и объемы работ по обследованию.

Работы по обмеру необходимых геометрических параметров зданий, конструкций, их элементов и узлов. Целью обмерных работ является уточнение фактических геометрических параметров строительных конструкций и их элементов, определение их соответствия проекту или отклонение от него.

Для обмерных работ, по мере необходимости, применяются измерительные инструменты: линейки, рулетки, стальные струны, штангенциркули, нутромеры, щупы, шаблоны, угломеры, уровни, отвесы, лупы, измерительные микроскопы, а в случае необходимости используют специальные измерительные приборы: нивелиры, теодолиты, дальномеры, тахеометры, стереокомпараторы, различные дефектоскопы и прочее, а также применяют стереофотограмметрию. Все применяемые инструменты и приборы должны быть поверены в установленном порядке.

Выявление дефектов и повреждений. Прежде всего выявляют и фиксируют видимые и внутренние дефекты и повреждения, делают описания, зарисовки, фотографии дефектных участков, составляют схемы и ведомости дефектов и повреждений с фиксацией их мест и характера.

Определение фактических прочностных характеристик материалов основных несущих конструкций и их элементов. Определяют методами неразрушающего контроля, а также методами определения прочности по образцам, отобраным из конструкций.

Определение реальных эксплуатационных нагрузок и воздействий, воспринимаемых обследуемыми конструкциями, и при необходимости измерение параметров эксплуатационной среды, присущей технологическому процессу в здании и сооружении.

Определение реальной расчетной схемы конструкции и ее отдельных элементов, условия опирания или соединения с другими смежными строительными конструкциями, деформативность опорных креплений;

Реальная расчетная схема определяется по результатам обследования. Она должна отражать геометрические размеры сечений, величины пролетов, эксцентриситетов; вид и характер фактических (или требуемых) нагрузок, точки их приложения или распределение по конструктивным элементам; повреждения и дефекты конструкций. При определении реальной расчетной схемы работы железобетонных конструкций необходимо, наряду с их геометрическими параметрами, учитывать систему фактического армирования и способы их сопряжения между собой.

Расчет несущей способности конструкций по результатам обследования. Перерасчет конструкции по фактическим показателям, полученным при обследовании, выполняется с целью окончательной оценки несущей способности и эксплуатационной пригодности сооружения; определения напряжений, деформаций, перемещений несущих конструкций при различных уровнях эксплуатационной нагрузки.

Камеральная обработка и анализ результатов обследования и поверочных расчетов, анализ причин появления дефектов и повреждений в конструкциях **и составление итогового документа** (акта, заключения, технического расчета) с выводами по результатам обследования и рекомендациями по дальнейшей эксплуатации и необходимости усиления.

На основании результатов обследования и поверочных расчетов производят оценку технического состояния несущих конструкций. Согласно СП 13-102-2003 по этой оценке конструкции подразделяются на: находящиеся в **нормативном техническом состоянии, работоспособном техническом состоянии, ограниченно-работоспособном техническом состоянии и аварийном состоянии.**

Нормативное техническое состояние — категория технического состояния, при котором количественные и качественные значения параметров всех критериев оценки технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений, включая состояние грунтов основания, соответствуют установленным в проектной документации значениям с учетом пределов их изменения.

Работоспособное техническое состояние — категория технического состояния, при которой некоторые из числа оцениваемых контролируемых параметров не отвечают требованиям проекта или норм, но имеющиеся нарушения требований, в конкретных условиях эксплуатации, не приводят к нарушению работоспособности, и необходимая несущая способность конструкций и грунтов основания, с учетом влияния имеющихся дефектов и повреждений, обеспечивается.

Ограниченно-работоспособное техническое состояние — категория технического состояния строительной конструкции или здания и сооружения в целом, включая состояние грунтов основания, при которой имеются крены, дефекты и повреждения, приведшие к снижению несущей способности, но отсутствует опасность внезапного разрушения, потери устойчивости или опрокидывания, и функционирование конструкций и эксплуатация здания или сооружения возможны либо при контроле (мониторинге) технического состояния, либо при проведении необходимых мероприятий по восстановлению или усилению конструкций и (или) грунтов основания и последующем мониторинге технического состояния (при необходимости).

Аварийное состояние — категория технического состояния строительной конструкции или здания и сооружения в целом, включая состояние грунтов основания, характеризующаяся повреждениями и деформациями, свидетельствующими об исчерпании несущей способности и опасности обрушения и (или) характеризующаяся кренами, которые могут вызвать потерю устойчивости объекта.

III. Оборудование и приборы

В лабораторной работе в качестве конструкции используется железобетонная балка с шарнирным опиранием (см.Рис.3.1). Размеры железобетонной балки определяются с помощью металлической рулетки или линейкой с точностью до 1 мм.

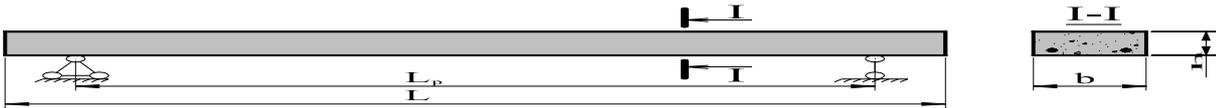


Рис. 3.1 Схема обследуемой балки

Для определения прочности бетона используется ультразвуковой импульсный метод (оборудование для измерений и методика определения прочности бетона рассмотрены в лабораторной работе 2).

Параметры армирования балки определяются с помощью электромагнитного метода. Метод определения защитного слоя бетона и диаметра арматуры основан на измерении магнитного сопротивления магнитной цепи.

В настоящей работе используется прибор ИЗС-10Н, Поиск-2.5 или аналогичные приборы.



Рис. 3.2 Блок-схема прибора для определения толщины защитного слоя и диаметра арматуры.

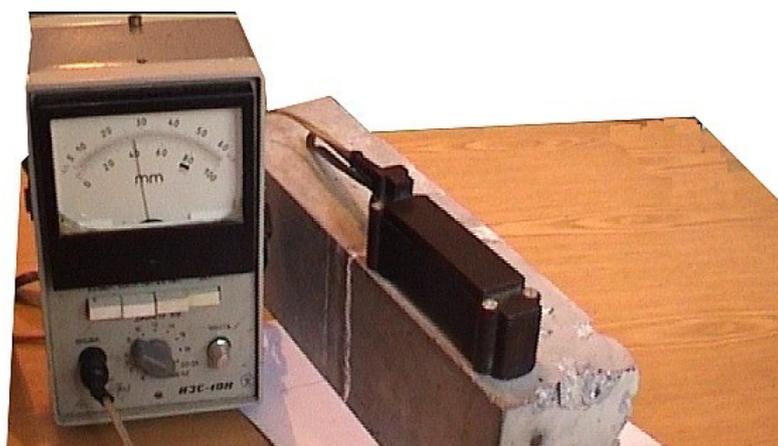


Рис. 3.3 Общий вид приборов ИЭС-10Н и Поиск-2.5

Металлический предмет, попадая в магнитное поле индуктивного датчика прибора, вызывает отклонение стрелки прибора, проградуированного в единицах толщины защитного слоя, в зависимости от диаметра арматуры (мм).

Для определения величины защитного слоя бетона $h_{зс}$ и диаметра арматуры используется следующий прием: вначале датчик прибора устанавливается на поверхность конструкции строго над арматурным стержнем (наибольшее отклонение стрелки прибора от начального положения). Затем производится измерение величины защитного слоя при различных, уставленных на приборе, диаметрах арматуры. Далее на поверхность конструкции устанавливается немагнитная прокладка из дерева или пластмассы известной толщины Δ . Так как расстояние от датчика до арматурного стержня увеличивается, то соответственно возрастает измеряемое значение толщин защитного слоя для каждого диаметра арматуры. Там, где разница между толщиной защитного слоя с прокладкой и без нее будет равна или максимально близка к толщине прокладки, там показания прибора без прокладки соответствуют диаметру арматуры в исследуемой железобетонной балке. Соответственно будет найдена и толщина защитного слоя арматуры для этого диаметра.



Рис. 3.4 Схема определения диаметра арматуры и величины защитного слоя бетона железобетонной балки..

IV. Порядок выполнения работы и обработка результатов

1. Определить геометрические характеристики железобетонной балки. Результаты записать в табл. 1.

Таблица 1

Размеры балки, м	L	L _p	b	h

2. Определить прочностные характеристики бетона R_i, для чего выбрать n точек прозвучивания по длине балки. Результаты измерений записать в табл. 2.

Таблица 2

№ опыта	b, м	t, мкс	V, м/с	R _i , МПа	$\bar{R} - R_i$, МПа	$(\bar{R} - R_i)^2$, МПа	S, МПа	v	B*, МПа	B, МПа	R _b , МПа
1											
2											
3											

Фактический класс бетона определяют по полученным результатам статистических расчетов с учетом формул:

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n}; \text{-среднее значение прочности бетона, МПа;}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{R} - R_i)^2}{n-1}}; \text{- среднеквадратическое отклонение прочности бетона, МПа;}$$

$$v = \frac{S}{\bar{R}}; \text{- коэффициент вариации прочности бетона;}$$

$B^* = \bar{R}(1 - 1,64v)$; - фактическая величина, соответствующая классу бетона по прочности на сжатие B, МПа.

B - класс бетона по СП 52-101-2003 (см.Приложение 1).

R_b - расчетное сопротивление бетона по СП 52-101-2003 (см.Приложение 1).

3. Определить характеристики армирования железобетонной балки (A_s, h_{зс}, R_s).

1) Определим количество стержней арматуры в железобетонной балке с помощью прибора ИЗС-10Н. Для этого, перемещая датчик в поперечном направлении балки, подсчитаем общее количество максимальных отклонений стрелки прибора.

2) Для определения величины защитного слоя бетона h_{зс} и диаметра арматуры d регистрируются показания прибора при расположении датчика над арматурным стержнем без прокладки (h₁) и с прокладкой толщиной □ (h₂) на всех диапазонах (d) измерения прибора. Результаты записываются в табл. 3. Вычисляется разность отсчетов h₂ – h₁. Диаметр в строке, в которой эта разность будет равна или максимально близка к толщине прокладки □, будет соответствовать диаметру арматуры в исследуемой железобетонной балке. Соответственно будет найдена и толщина защитного слоя для этого диаметра.

Таблица 3

Диапазон измерений, мм	h_1 , мм	h_2 , мм	$(h_2 - h_1)$ мм	Выводы:
6				
8				
10				
12				
14				
16				

Класс рабочей арматуры определяется после вскрытия бетона или по результатам исследования методами проникающих излучений по типу периодического профиля. По классу арматуры по СП 52-101-2003 определяется ее расчетное сопротивление R_s (см. Приложение 2).

На основе проведенных измерений определяется: d , $h_{з.с.}$, a , h_0 , A_s , R_s .

4. Выявление дефектов и повреждений: выявляются и фиксируются видимые дефекты и повреждения, делаются описания, зарисовки дефектных участков, составляются схемы и ведомости дефектов и повреждений с фиксацией их мест и характера. Результаты фиксируются в таблице 4 и на схеме балки (рис.3.6).

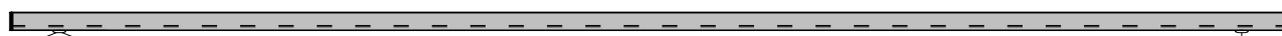


Рис. 3.5 Схема балки для указания дефектов и повреждений

№ п/п	Описание дефекта	Место расположения дефекта
1		
2		
3		

5. Определить:

1) момент M_{MAX} в опасном сечении от нагрузки, заданной преподавателем;

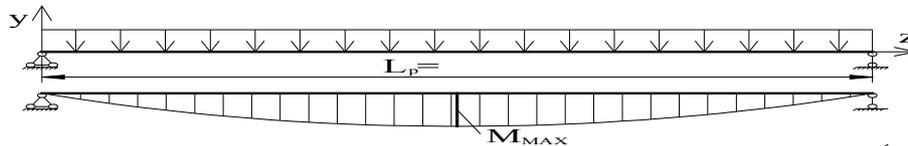
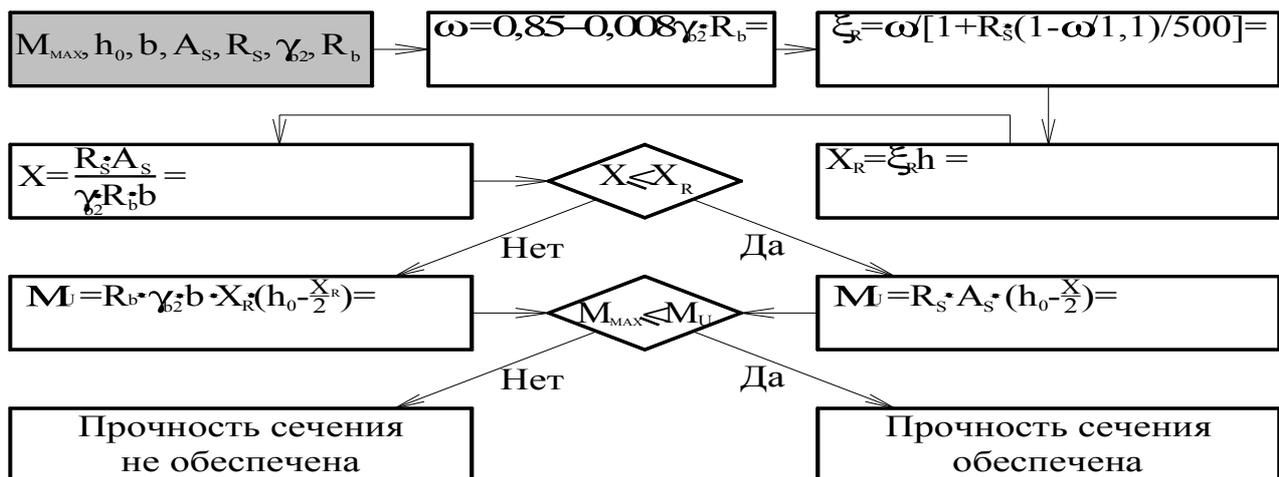


Рис. 3.6 Расчетная схема балки и эпюра моментов от заданной нагрузки

2) максимальный момент в опасном сечении M_u , который может выдержать балка по представленной ниже блок-схеме.

3) сравнить M_u и M_{MAX} между собой



6. На основании результатов обследования и поверочных расчетов произвести оценку технического состояния железобетонной балки (по СП 13-102-2003). Сделать выводы о возможности использования балки под заданную нагрузку.

V. Контрольные вопросы

1. Как определить прочность бетона непосредственно в конструкции?
2. Как влияет коэффициент вариации прочности бетона на определение класса бетона?
3. Как определить диаметр арматурных стержней?
4. Какие параметры необходимы для оценки несущей способности конструкции?
5. В каких случаях проводится обследование конструкции, из каких этапов оно состоит?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4 СТАТИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ МОНОРЕЛЬСОВОГО ПУТИ

1. Цели и задачи работы

Цель работы – экспериментальное исследование работы монорельсового пути под нагрузкой, для проверки правильности и точности расчетных схем для определения прогиба, напряжений, построения линии влияния моментов. В лабораторной работе необходимо решить следующие задачи:

1. Определить вертикальные перемещения и нормальные напряжения в заданном сечении балки. Сравнить расчетные значения этих параметров с экспериментальными.
2. Сравнить действительную схему работы монорельсового пути с расчетной, построив экспериментально линию влияния изгибающего момента для заданного сечения балки.

II. Краткие теоретические сведения

Натурное обследование конструкций при необходимости может включать в себя этап более углубленного экспериментального исследования несущих конструкций (**натурные испытания**).

Натурное испытание – это совокупность операций связанных с выявлением и проверкой состояния и работоспособности объекта в целом, и каждого из его элементов при специальном (испытательном) или эксплуатационном нагружении.

Цель натуральных испытаний – оценка показателей, характеризующих свойства и состояние эксплуатируемых конструкций, а также изучение процессов, протекающих в них, для проверки правильности и точности теоретических расчетов.

Натурные испытания конструкций позволяют получить дополнительную информацию о действительных граничных условиях, об особенностях деформирования конструкции, о напряжениях в ее сечениях. При испытаниях нагрузкой малой величины конструкция не доводится до разрушения, при этом может быть получена информация о напряженно-деформированном состоянии материала конструкции, которая позволяет сделать заключение о выборе расчетной схемы для оценки напряженно-деформированного состояния при более высоком уровне нагрузки. Проведение натуральных испытаний позволяет получить более точную информацию для оценки несущей способности конструкций. Однако следует учитывать, что натурные испытания — мероприятие дорогостоящее, требуют значительного времени и технологических перерывов в работе оборудования, которые в эксплуатируемых конструкциях связаны с экономическими издержками. Поэтому, если есть возможность дать заключение о состоянии сооружения на базе информации, полученной на первом этапе обследования (освидетельствование), то натурные испытания не проводят.

При статических испытаниях строительных конструкций измеряются действующие нагрузки, перемещения (линейные и угловые), а также деформации в наиболее напряженных зонах и сечениях конструкции.

Если конструкцией является балка, то определение прогиба в ней производится с учетом осадки опор. Так например, прогиб в середине пролета для однопролетной балки можно определить по формуле: $f^{экс} = V_C - \frac{V_A + V_B}{2}$.

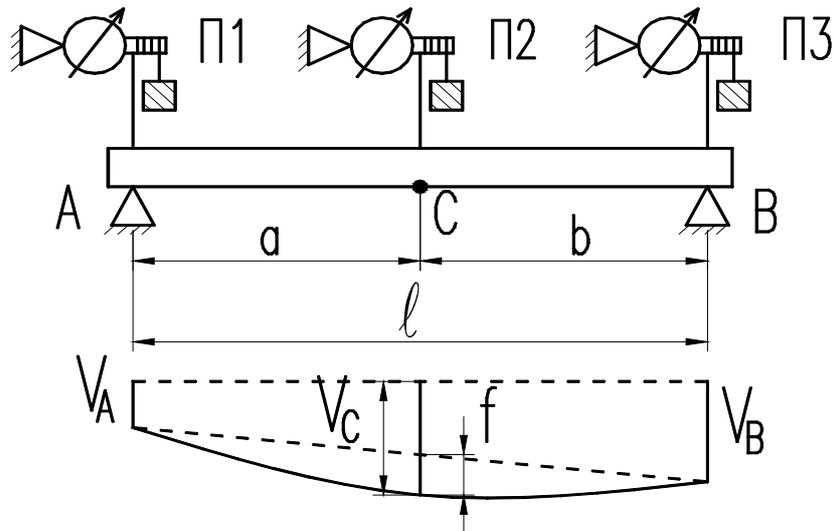
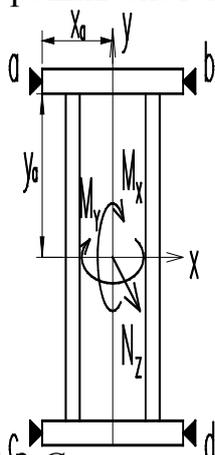


Рис. 4.1 Схема к определению прогиба балки с учетом перемещения опор.

Для определения внутренних усилий в изгибаемой балке необходимо измерить относительные линейные деформации (ϵ) в требуемом поперечном сечении. Для этого используются тензорезисторы, минимальное количество которых соответствует числу определяемых внутренних усилий, возникающих в поперечном сечении конструкции. Например, в сечении, представленном на рис. 4.2, для определения трех внутренних усилий (продольной силы N_z , изгибающих моментов M_x и M_y) требуется наклеить как минимум три тензорезистора (четвертый для контроля), с помощью которых измеряются относительные линейные деформации ϵ . При этом, внутренние усилия можно определить, решив систему следующих уравнений:



$$\sigma_a = \epsilon_a \cdot E = \frac{N_z}{F} + \frac{M_y \cdot x_a}{I_y} + \frac{M_x \cdot y_a}{I_x};$$

$$\sigma_b = \epsilon_b \cdot E = \frac{N_z}{F} + \frac{M_y \cdot x_b}{I_y} + \frac{M_x \cdot y_b}{I_x};$$

$$\sigma_c = \epsilon_c \cdot E = \frac{N_z}{F} + \frac{M_y \cdot x_c}{I_y} + \frac{M_x \cdot y_c}{I_x};$$

$$\sigma_d = \epsilon_d \cdot E = \frac{N_z}{F} + \frac{M_y \cdot x_d}{I_y} + \frac{M_x \cdot y_d}{I_x};$$

Рис. 4.2 Схема к определению внутренних усилий в сечении конструкции.

где x и y - координаты точек в которых производятся измерения деформаций;

M_x, M_y, N_z - определяемые внутренние усилия в элементе конструкции;

F - площадь поперечного сечения;

I_x, I_y - главные центральные осевые моменты инерции поперечного сечения;

После проведения испытаний производится сравнение перемещений, продольных усилий, напряжений, моментов, полученных экспериментально, с их расчетными значениями. Вычисляется конструктивная поправка, равная отношению экспериментального значения перемещения, напряжения, момента или внутреннего усилия к расчетному.

III. Оборудование и приборы

Схема установки, предназначенной для статического испытания конструкции – монорельсовая балка с шарнирным опиранием, представлена на рис. 4.3. Установка представляет собой модель монорельсового пути, по нижнему поясу которого передвигается тележка с контейнером, в котором находятся грузы. Монорельсовый путь изготовлен из прокатного двутавра № 10, имеющего следующие характеристики:

$$A = 12,0 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2; \quad I_x = 198 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4; \quad W_x = 39,7 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3; \\ I_y = 17,9 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4; \quad W_y = 6,49 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3; \quad E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа.}$$

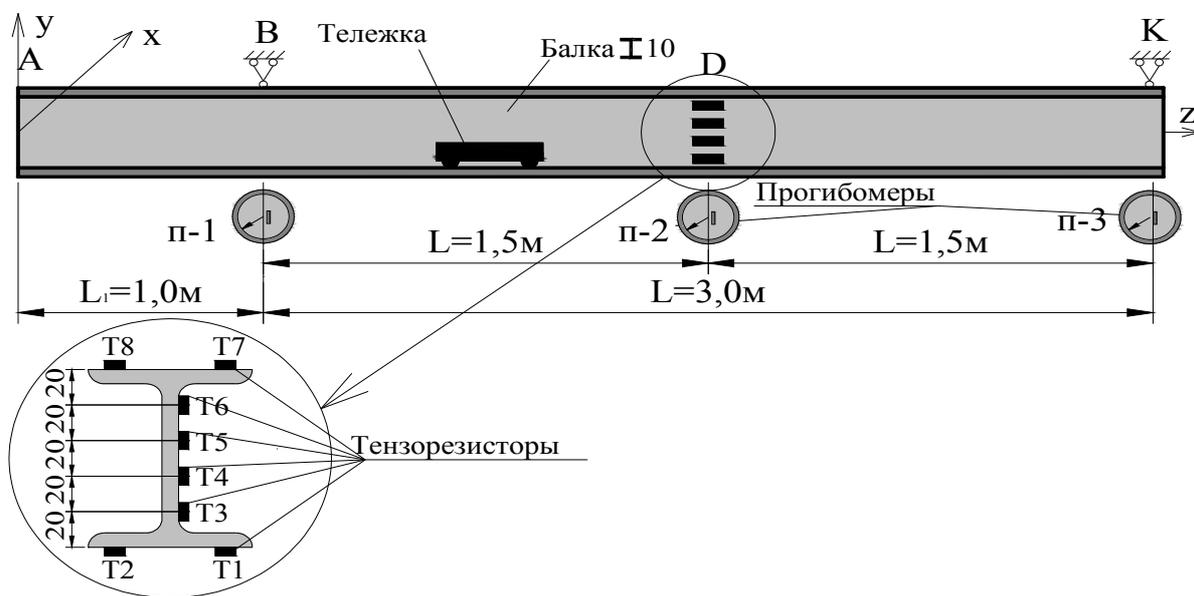


Рис.4.3 Схема монорельсового пути - балки и расположения измерительных приборов

Для определения перемещений в сечениях пути используются прогибомеры барабанного типа (или индикаторы часового типа.)

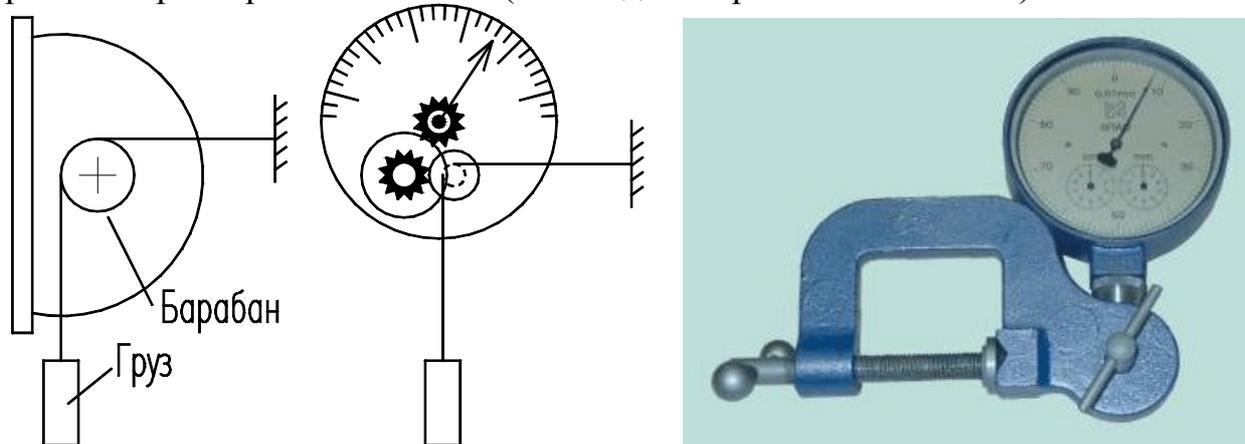


Рис.4.4 Схема и общий вид барабанно-шестеренчатого прогибомера

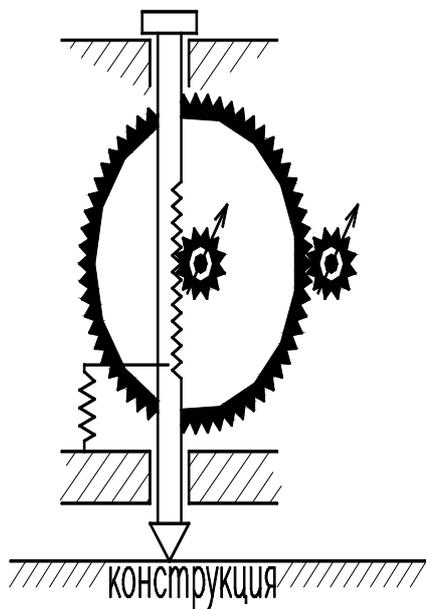


Рис.4.5 Схема и общий вид реечно-шестеренчатого индикатора (индикатора часового типа)

Для измерения деформаций используются тензорезисторы (см лабораторную работу №1). Схема наклейки тензорезисторов, расположенных параллельно продольной оси балки для одного из сечений приведена на рис. 4.3. Регистрация деформаций производится тензометрическим прибором (СИИТ-3).

IV. Порядок выполнения работы и обработка результатов

1. Определить вертикальные перемещения в балке монорельсового пути в $\frac{1}{2}$ пролета:

1) Установить тележку на опоре и записать отсчеты при $F = 0$ по всем прогибомерам на опорах и в $\frac{1}{2}$ пролета. Результаты записать в табл. 1 в графу $F = 0$.

2) Передвинуть тележку с грузом в одно из сечений по указанию преподавателя. Записать отсчеты по прогибомерам, результаты записать в табл. 1 в графу $F \neq 0$.

Таблица 1

прогибо- мера	Отсчеты по прогибомерам, мм		Вычислить			
	F=0	F=___, Н	разность отсчетов, □, мм	прогиб, $f^{экс}$, мм	прогиб, $f^{теор}$, мм	$k_f = \frac{f^{экс}}{f^{теор}}$
п-1						
п-2						
п-3						

3) Определить экспериментальные значения прогиба в точке D. При определении прогиба в середине пролета прогиб вычисляется по формуле:

$$f^{экс} = V_D - \frac{V_B + V_K}{2};$$

4) Определить теоретические значения прогиба. При определении прогиба в середине пролета прогиб вычисляется по формуле: $f^{теор} = \frac{F \cdot L^3}{48 \cdot EI_x}$.

5) Сравнить экспериментальные и теоретические значения прогиба.

Вычислить конструктивную поправку. $k_f = \frac{f_{\text{экс}}}{f_{\text{теор}}}$

2. Определить нормальные напряжения в балке монорельсового пути:

1) Установить тележку на опоре и снять отсчеты при $F = 0$ по тензорезисторам. Результаты записать в табл. 2 в графу $F = 0$.

2) Передвинуть тележку с грузом в одно из сечений по указанию преподавателя. Снять отсчеты по тензорезисторам, результаты записать в табл. 2 в графу $F \neq 0$.

3) Определить экспериментальные значения напряжений. по формуле:

$$\sigma_z^{\text{экс}} = \frac{\Delta \cdot C \cdot E}{k_T}$$

- где Δ - разность отсчетов по тензорезисторам;

C - цена деления прибора СИИТ-3 в единицах относительного изменения сопротивления, $C = 4 \cdot 10^{-6}$;

E – модуль упругости стали, $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа;

k_T - коэффициент тензочувствительности тензорезисторов (по лабораторной работе №1).

4) Определить теоретические значения прогиба по формуле:

$$\sigma_z^{\text{теор}} = \frac{M_x}{I_x} \cdot y_k;$$

- где $M_x = \frac{F \cdot L}{4}$ - теоретическое значение момента в середине пролета;

I_x - момент инерции балки;

y_k - расстояние от нейтральной оси до точки, в которой определяются напряжения

5) Построить экспериментальную и теоретическую эпюры напряжений, сравнить их, объяснить расхождения. Вычислить коэффициент конструктивной поправки.

Таблица 2

№ тензорезистора	Отсчеты по тензорезисторам при:		Вычислить			
	F=0	F= ___ Н	разность отсчетов, □	напряжение $\sigma_z^{\text{экс}}$, МПа	напряжение $\sigma_z^{\text{теор}}$, МПа	$k_\sigma = \frac{\sigma_z^{\text{экс}}}{\sigma_z^{\text{теор}}}$
1						
2						
3						
4						

3. Сравнить действительную схему работы монорельсового пути с расчетной, построив линии влияния изгибающего момента.

1) Установить тележку на опоре и снять отсчет по прибору, используя тензорезисторы, установленные в верхнем или нижнем волокне, в сечении указанном преподавателем. Отсчет записать в таблицу 3 в графу $F = 0$.

2) Затем, устанавливая тележку с грузом в $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ пролета балки и на консоли, снимать каждый раз отсчет по тензометрическому прибору. Результаты записать в табл. 3 в графу $F \neq 0$.

3) По экспериментальным данным, представленным в таблице 3 вычислить разность отсчетов (относительную деформацию в точке) и экспериментальное значение изгибающего момента $M_X^{экс}$ в заданном сечении для различных положений тележки по формуле:

$$M_X^{экс} = \frac{\Delta \cdot C \cdot E \cdot W_X}{k_T}$$

где C - цена деления прибора в единицах относительного изменения сопротивления, $C = 4 \cdot 10^{-6}$;

E – модуль упругости стали, $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа;

k_T - коэффициент тензочувствительности тензорезисторов (по лабораторной работе №1).

W_X - момент сопротивления балки.

Теоретическое значение изгибающего момента вычисляется по формуле:

$$M_T = y \cdot F$$

- где y - ордината линии влияния момента в рассматриваемой точке от единичной нагрузки.

5. Сравнить теоретические значения моментов в заданной точке с экспериментальными. Вычислить коэффициент конструктивной поправки..

Контрольные вопросы

1. Какие приборы используются для измерения перемещений конструкций?

2. Почему необходимо учитывать осадку опор при определении перемещений конструкций?

3. Какие приборы применяются для измерения относительных линейных деформаций на поверхности конструкций?

4. Как осуществляется переход от измеренных деформаций к напряжениям?

5. Какое минимальное количество тензорезисторов необходимо наклеить в одном поперечном сечении конструкции для определения внутренних усилий?

6. Как определяется коэффициент конструктивной поправки и что он характеризует?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5 ДИНАМИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ БАЛКИ В РЕЖИМЕ СВОБОДНЫХ И ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ

I. Цели и задачи работы

Целью данной лабораторной работы является изучение методики проведения динамических испытаний строительных конструкций в режиме свободных и вынужденных колебаний и ознакомление с контрольно-измерительными приборами, применяемыми при таких испытаниях. В лабораторной работе необходимо решить следующие задачи:

1. При испытании балки в режиме свободных колебаний: определить по полученным экспериментально виброграммам частоту собственных колебаний балки и значение логарифмического декремента колебаний;

2. При испытании балки в режиме вынужденных колебаний, вызванных вибрационной нагрузкой:

1) определить по полученным экспериментально виброграммам резонансные частоты при первой и второй резонансных формах колебаний балки:

2) сравнить частоту резонансных колебаний балки с теоретической частотой собственных колебаний и определить величину расхождения:

3) определить значение динамического коэффициента при возбуждении первой формы резонансных колебаний балки для вынужденных колебаний балки с частотой, близкой к резонансной по первой форме.

II. Краткие теоретические сведения

Определение частот собственных колебаний конструкции имеет весьма большое практическое значение, так как они учитываются при расчете на действие вибрационной нагрузки. При вынужденных колебаниях в конструкции возникают переменные во времени напряжения, которые могут вызвать усталостное разрушение. Значение этих напряжений зависит от соотношения частот вынужденных и собственных колебаний.

При совпадении частоты собственных колебаний с частотой возмущающей силы возникает явление резонанса, при котором амплитуды колебаний и динамические напряжения достигают наибольших значений. Для определения частот собственных изгибных колебаний балки на двух шарнирных опорах используется зависимость

$$f_0^T = \frac{k^2 \cdot \pi}{2 \cdot L^2} \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I_y}{m}}$$

k – коэффициент, зависящий от формы колебаний;

L – длина балки;

m – погонная масса балки;

E – модуль упругости материала балки; I_y – момент инерции сечения.

Неупругие свойства колеблющейся системы характеризуются логарифмическим декрементом колебаний δ , определяющим скорость затухания собственных колебаний

$$\delta = \frac{1}{n-1} \ell_n \frac{2a_1}{2a_n}$$

n – число полных колебаний на выбранном отрезке виброграммы;

a_1 , - амплитуда в начале выбранного отрезка виброграммы;

a_n – амплитуда в конце выбранного отрезка виброграммы;

Если на конструкцию действует гармоническая возмущающая сила с частотой f_B , то возникают вынужденные колебания с амплитудой

$$Y_d = Y_{ст} \cdot K_{дин}$$

- где $Y_{ст}$ - величина максимального статического прогиба балки при статическом действии инерционной силы, приложенной в месте установки вибромашины, возникающей от вращения ее эксцентриков.

$K_{дин}$ - динамический коэффициент, который в системе с одной степенью свободы определяется по формуле

$$K_d = \frac{1}{\sqrt{(1 - (f_B^2 / f_0^2))^2 + (f_B^2 / f_0^2) \cdot \delta^2 / \pi^2}}$$

Значения максимальных динамических напряжений определяются аналогичным образом:

$$\sigma_d = \sigma_{ст} \cdot K_{дин}$$

III. Оборудование и приборы

В качестве конструкции для выполнения динамических испытаний в режиме свободных и вынужденных колебаний выбрана двутавровая балка № 10 пролетом $L = 3,75$ м, шарнирно опертая по краям.

Основные характеристики балки:

$E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа - модуль упругости стали;

$A = 12,0 \cdot 10^{-4}$ м² - площадь поперечного сечения балки;

$m = 9,46$ кг/м (Н·с²/м²) - погонная масса балки;

$I_y = 17,9 \cdot 10^{-8}$ м⁴ - момент инерции сечения относительно оси y ;

Балка установлена на опоры с горизонтальным расположением стенки с целью возбуждения в ней колебаний в плоскости наименьшей жесткости.

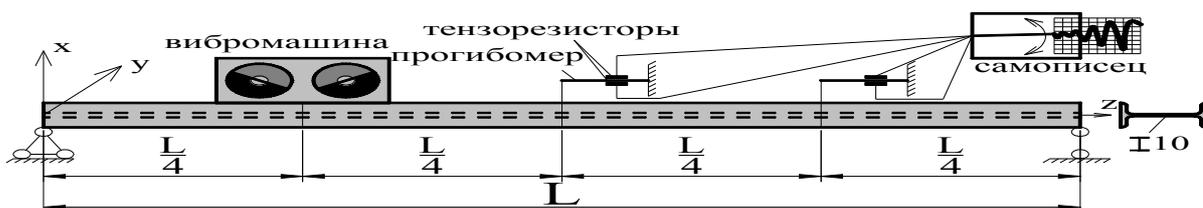


Рис. 5.1. Схема экспериментальной установки

Свободные колебания возбуждаются простым ударом по балке, а вынужденные создаются с помощью малогабаритной вибрационной машины направленного действия (рис. 5.2), установленной в четверти пролета вибромашины.

Центробежные силы, возникающие при вращении эксцентриков машины, дают вертикальную составляющую, изменяющемуся по синусоидальному

закону (рис. 5.3). $Y = 2m_0\omega^2 r \sin \alpha$. Горизонтальная составляющая при этом равна нулю, как сумма равных по величине и противоположных по направлению проекций центробежных сил: $X = m_0\omega^2 r(\cos \alpha - \cos \alpha) = 0$

$m_0 = 0,15 \text{ кг}$ – масса каждого из эксцентриков вибромашины;

$r_0 = 1,44 \cdot 10^{-2} \text{ м}$ – радиус вращения центра массы эксцентрика;

$\omega_B = 2\pi \cdot f_B$ - круговая частота вращения вибромашины;

f_B - частота вращения эксцентриков вибромашины.

При этом величина статического прогиба балки от инерционной силы, возникающей от вращения эксцентриков вибромашины будет определяться по

формуле: $Y_{cr} = \frac{P_{max} \cdot L^3}{82 \cdot EI_y}$;

- где $P_{max} = 2m_0 \cdot \omega_B^2 \cdot r_0$ - максимальное значение вертикальной составляющей силы, возникающая от вращения эксцентриков вибромашины.

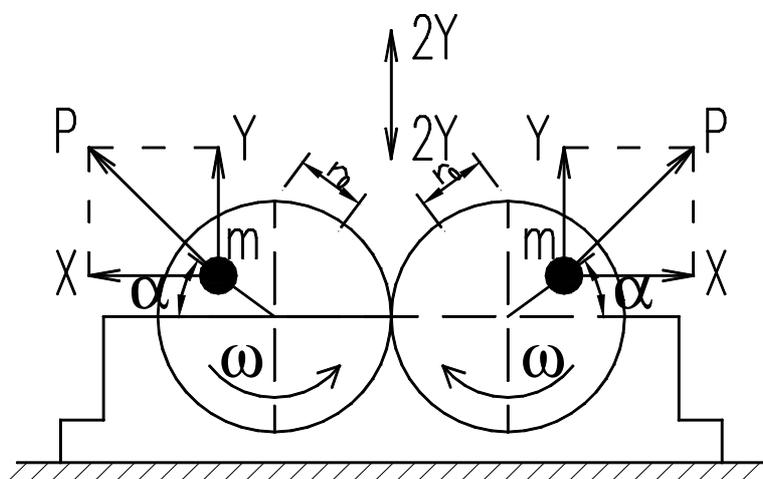


Рис. 5.2. Схема вибромашины направленного действия.

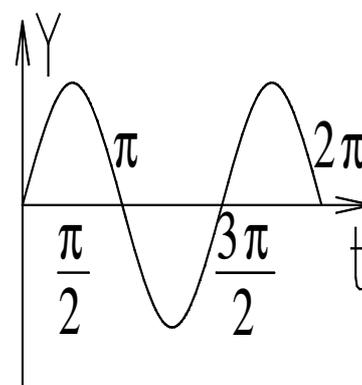


Рис. 5.3. График изменения вертикальной суммарной проекции центробежных сил

Регистрация динамических деформаций и перемещений в заданных сечениях балки производится с помощью тензорезисторных прогибомеров, и быстродействующего самопишущего прибора.

IV. Порядок выполнения работы и обработка результатов

1. При проведении динамических испытаний в режиме свободных колебаний необходимо возбудить колебания балки ударом или оттяжкой и записать виброграмму колебаний (виброграмма 1);

Результаты эксперимента обрабатываются в следующей последовательности:

1). Для определения частоты колебаний на виброграмме выбираем целое число полных колебаний балки n . Линейкой измеряем длину участка l_1 виброграммы с n колебаниями. По меткам времени на виброграмме или по скорости движения ленты в приборе определяем длину интервала l_2 , соответствующего одной секунде. Частота колебаний, зарегистрированных на виброграмме, определяется по формуле

$$f_0^{\text{э}} = n \cdot \frac{\ell_2}{\ell_1}$$

2). Для определения логарифмического декремента колебаний на виброграммах свободных колебаний измеряем удвоенные амплитуды первого ($2a_1$) и последнего ($2a_n$) колебаний на выбранном участке. Вычисляем значение логарифмического декремента колебаний:

$$\delta = \frac{1}{n-1} \ln \frac{2a_1}{2a_n}$$

Результаты измерений и вычислений записываем в таблицу 1.

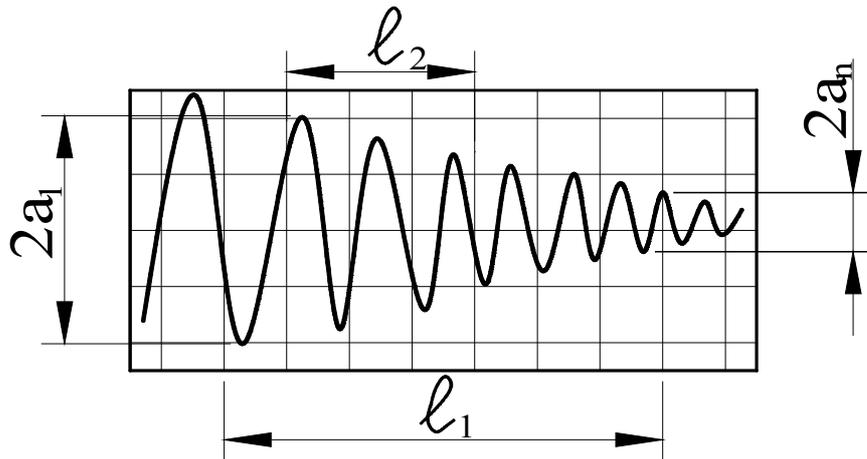


Рис.5.4. К обработке виброграммы

Таблица 1

№ виброграммы	Схема колебаний	n	ℓ_1 , мм	ℓ_2 , мм	$2a_1$, мм	$2a_n$, мм	Вычислить			
							\square	$f_0^{\text{э}}$, Гц	f_0^T , Гц	$k_f = \frac{f_0^{\text{э}}}{f_0^T}$
1										

2. При испытании балки в режиме вынужденных колебаний следует:

- включить мотор вибромашины и постепенно увеличивать число оборотов. Когда амплитуда колебаний в середине пролета достигнет максимума, записать виброграмму колебаний 2;
- увеличить число оборотов вибромашины до момента, когда колебания балки в середине пролета станут равными нулю, а в четвертях пролета достигнут максимума, записать виброграмму колебаний 3.

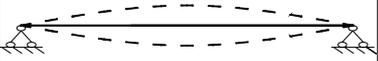
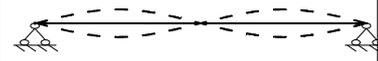
Для определения близких к резонансным частоте колебаний балки следует определить частоту вынужденных колебаний балки f_b по виброграммам 2 и 3 (первая и вторая формы колебаний).

Значение динамического коэффициента $K_{\text{дин}}$ определяется по формуле:

$$K_{\text{дин}} = \frac{1}{\sqrt{(1 - (f_b^{\text{э}} / f_0^{\text{э}})^2)^2 + (f_b^{\text{э}} / f_0^{\text{э}})^2 \cdot \delta^2 / \pi^2}}$$

Результаты обработки виброграмм вынужденных колебаний следует занести в табл. 2.

Таблица 2

№ виброграммы	Схема колебаний	n	l_1 , мм	l_2 , мм	Вычислить		
					$f_B^{\text{э}}$, Гц	f_0^T , Гц	$k_f = \frac{f_0^{\text{э}}}{f_0^T}$
2							
3							

Контрольные вопросы

1. Как экспериментальным путем определить частоту колебаний конструкции?
2. Что называют логарифмическим декрементом колебаний и как экспериментально определить его значение?
3. По какому принципу работает вибромашина и в чем особенности ее устройства?
4. Что называют основными резонансными формами колебаний балки?
5. Что называют динамическим коэффициентом и как его определить?
6. Какие измерительные средства применяют при регистрации динамических деформаций и перемещений?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

МЕХАНИЧЕСКИЕ НЕРАЗРУШАЮЩИЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТИ МАТЕРИАЛОВ В КОНСТРУКЦИЯХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Цель работы – ознакомление с методикой определения прочностных характеристик материалов механическими неразрушающими методами.

В ходе работы необходимо решить следующие задачи:

1. Определить прочность бетона ударно-импульсным методом.
2. Определить прочность бетона методом упругого отскока.
3. Определить временное сопротивление стали методом пластической деформации.

II. Краткие теоретические сведения

К механическим неразрушающим методам относятся метод локальных разрушений, метод пластических деформаций, метод упругого отскока и ударно-импульсные методы.

Метод локальных разрушений, хотя и принято его относить к неразрушающим, все же связан с определенным ослаблением несущей способности конструкций. К методам локальных разрушений относятся: метод отрыва, метод отрыва со скалыванием, метод скалывания ребра и другие методы.

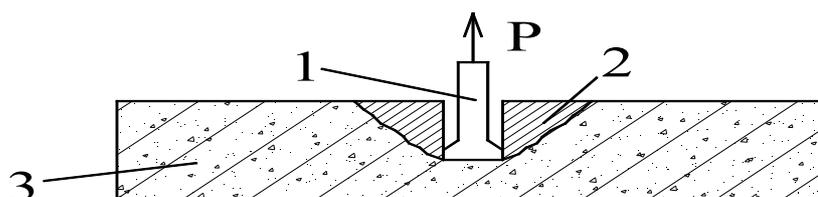


Рис.6.1 Принципиальная схема метода отрыва со скалыванием

Испытания на *отрыв со скалыванием* связаны с извлечением из тела бетона предварительно установленных анкеров. На рис.6.1 представлена принципиальная схема таких испытаний. С помощью домкратов из тела бетона 3 извлекается анкер 1 и фиксируется величина силы P , соответствующей моменту извлечения объема бетона 2.

Прочность бетона в этом случае может быть установлена по формуле (ГОСТ 22690-88):

$$R = m_1 \cdot m_2 \cdot P, \text{ МПа}$$

где m_1 - коэффициент, учитывающий максимальный размер крупного заполнителя в зоне вырыва и принимаемый равным 1 при крупности менее 50 мм и 1,1 - при крупности 50 мм и более;

m_2 - коэффициент, служащий для перехода от усилия отрыва (кН) к прочности бетона (МПа);

P - усилие отрыва (кН).

Достоверность прочности бетона установленная методом отрыва со скалыванием, достаточно высокая. Вместе с тем, к недостаткам этого метода следует отнести его высокую трудоемкость и невозможность использования в

густоармированных участках, а также то, что он частично повреждает поверхность конструкции.

При испытании бетона *методом скалывания ребра* к исследуемой конструкции 1 крепится специальное устройство 3 (рис. 6.2). Острые крюка данного устройства располагают так, чтобы оно соприкасалось с гранью конструкции, а линия действия силы была бы направлена под углом 18° к грани бетона. По усилию P , необходимому для скалывания бетона 2, судят о прочности бетона конструкции.

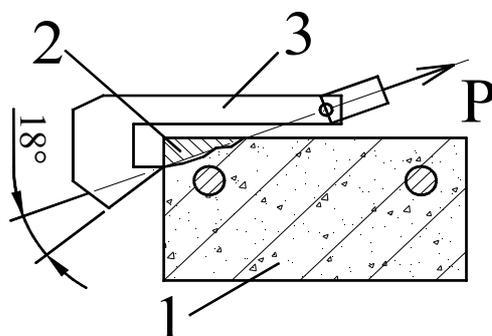


Рис.6.2 Принципиальная схема метода скалывания ребра

Величину прочности определяют по формуле (ГОСТ 22690-88):

$$R = 0,058 \cdot m \cdot (30 \cdot P + P^2), \text{ МПа}$$

где m - коэффициент, учитывающий максимальный размер крупного заполнителя и принимаемый равным 1 при крупности заполнителя менее 20 мм; 1,05 - при крупности заполнителя от 20 до 30 мм и 1,1 - при крупности от 30 до 40 мм;

P - усилие скалывания, кН

Метод пластических деформаций основан на оценке местных деформаций, вызванных приложением к материалу конструкции сосредоточенных усилий. Прочность материала определяется по существующей зависимости между размером отпечатка на поверхности элемента, полученного при вдавливании индентора статическим или динамическим воздействием и твердостью материала, который в свою очередь зависит от его прочности.

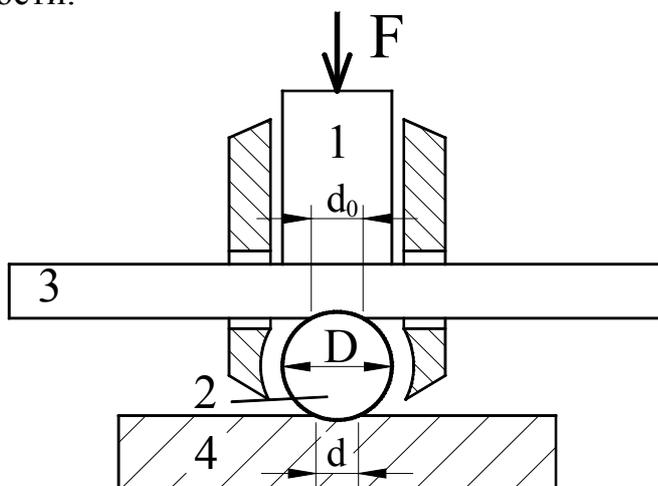


Рис.6.3 Принципиальная схема метода пластических деформаций

На рис.6.3 приведена схема метода определения прочности материала, с помощью специального эталона, повышающего точность ее определения. При

ударе по стержню (1) молотком на поверхности испытываемой конструкции (4) и на эталонном бруске (3), с известной твердостью материала $HB^{эм}$, остаются отпечатки. Зная размер отпечатков и диаметр D шарика (2) определяется

твердость материала конструкции по формуле: $HB = HB^{эм} \frac{D - \sqrt{D^2 - d_{эм}^2}}{D - \sqrt{D^2 - d_m^2}}$.

- где HB - твердость металла конструкции;

$HB^{эм}$ - твердость эталонного стержня; D - диаметр шарика;

$d_{эм}$ - диаметр отпечатка шарика на эталонном стержне;

d_m - диаметр отпечатка шарика на металле конструкции.

Прочность металла определяют по формуле: $\sigma_s = k \cdot HB$

- где k – коэффициент, зависящий от материала конструкции.

Метод упругого отскока, основан на использовании зависимости величины (высоты) отскока условного упругого тела h при ударе его о поверхность бетона.

В результате удара движущейся массы о поверхность бетона происходит перераспределение начальной кинетической энергии таким образом, что одна ее часть поглощается бетоном при его пластическом деформировании, а другая часть передается ударной массе в виде реактивной силы, преобразующейся в кинетическую энергию отскока. Чтобы начальная энергия удара распределялась таким образом, масса бетона должна быть бесконечно большей по сравнению с массой ударника, что должно исключить затрату энергии на перемещение бетонной массы.

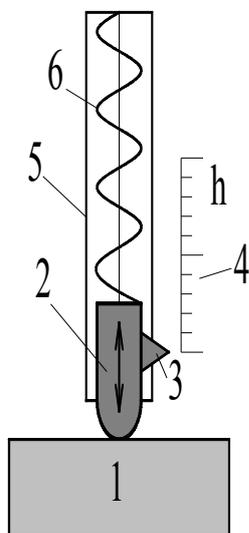


Рис.6.4 Принципиальная схема метода упругого отскока

Прибор состоит из корпуса 5, в котором по направляющему стержню под действием пружины 6 перемещается масса. Ось прибора во время испытаний должна быть перпендикулярна бетонной поверхности. Под действием пружины перемещается боек 2 передает удар на бетонную поверхность 1 и деформирует ее, расходуя одну часть энергии на пластическую деформацию, а другая часть будет затрачена на упругую деформацию бетона, которая в виде реактивной силы передается бойку, и под действием которой боек отскочит, увлекая за собой ползунок 3. Величина отскока измеряется по шкале 4 в зависимости от положения ползунка 3.

На высоту отскока бойка кроме величины реактивной силы влияет гравитационная сила подвижной массы, т.е. показание зависит от положения в пространстве, что учитывается путем использования коэффициентов или отдельных тарифовочных графиков.

Метод ударного импульса, основан на использовании зависимости между твердостью материала и величиной электрического импульса, генерируемого в ударной части прибора.

Принципиальная схема метода ударного импульса представлена на рис 6.5.

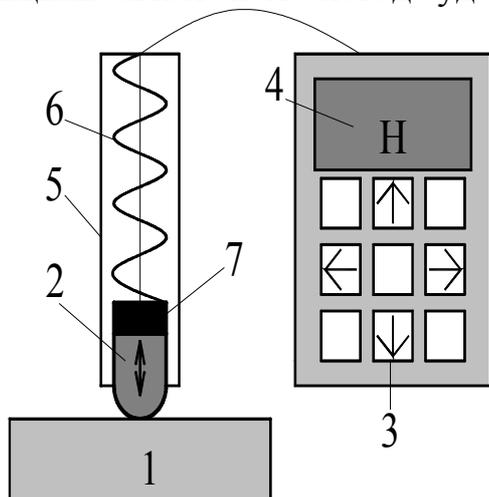


Рис.6.5 Принципиальная схема метода ударного импульса

Прибор имеет корпус 5, внутри которого свободно перемещается боек 2, поджатый пружиной 6. При соударении бойка о поверхность бетона 1, электромеханический (пьезоэлектрический) преобразователь 7 преобразует механическую энергию удара в электрический импульс. Обработка результата производится электронным блоком 3, результат выдается на экране 4.

К достоинствам метода можно отнести его оперативность, низкие трудозатраты, удобство в работе, отсутствие сложных вычислений, слабую зависимость от состава бетона. Недостатком метода является определение прочности в поверхностном слое бетона.

III. Оборудование и приборы

В настоящей работе при определении прочности бетона ударно—импульсным методом используется прибор «ОНИКС-2.5» или аналогичный ему, который предназначен для определения прочности бетона на сжатие неразрушающим ударно—импульсным методом при технологическом контроле качества материалов в обследовании зданий, сооружений, конструкций. Он также применим для определения твердости, однородности, плотности и пластичности различных материалов (бетона, кирпича, раствора и т.п.)

Для определения прочности (класса) бетона в конструкции необходима предварительная градуировка прибора, устанавливающая зависимость между прочностью бетона на сжатие **R** и косвенной характеристикой прибора – ударной твердостью **H**.



Рис.6.6 Общий вид прибора «Оникс-2.5»

При определении прочности бетона методом упругого отскока используется прибор молоток Schmidt фирмы "Proseq" или аналогичный ему. Общий вид прибора представлен на рис. 6.7.



Рис.6.7 Общий вид прибора молоток «Schmidt»

Для определения прочности (класса) бетона в конструкции необходима предварительная градуировка прибора, устанавливающая зависимость между прочностью бетона на сжатие R и косвенной характеристикой прибора – величиной отскока h .

Для определения твердости и прочности металла в настоящей работе применяется прибор Польди ударного действия, общий вид которого представлен на рис.6.8.

Рис.6.8 Общий вид прибора «Польди»

IV. Порядок выполнения работы и обработка результатов эксперимента

1. Определение прочности бетона ударно-импульсным методом:

1) Выбрать участок на поверхности бетона размером не менее 100 x 100 мм, без наплывов бетона и с малым количеством пор на поверхности. В случае отсутствия такого участка выровнять испытываемую поверхность с помощью наждачного камня.

2) Провести серию измерений, включающую не менее 6 ударов.

3) Определить прочность бетона R в образце или конструкции по ранее установленной градуировочной кривой по измеренной «ударной твердости» H . Результаты заносятся в табл. 1.

Градуировочная зависимость «ударная твердость – прочность бетона» получается по результатам последовательных неразрушающих и статических разрушающих испытаний образцов кубов из бетона того же состава, что и образцы для проведения лабораторных работ. Установление тарировочной зависимости осуществляется в соответствии с ГОСТ 22690-88.

Таблица 1

№ опыта	Условная хар-ка, H , усл.ед	Прочность R_i , МПа	$\bar{R} - R_i$, МПа	$(\bar{R} - R_i)^2$, МПа	S , МПа	ν	B^* , МПа	B , МПа	R_b , МПа
1									
2									
3									
4									
5									

Вывод о прочности бетона:

Фактический класс бетона определяют по полученным результатам статистических расчетов с учетом формул:

$$\bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n} \quad \text{- среднее значение прочности бетона, МПа;}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{R} - R_i)^2}{n-1}} \quad \text{- среднеквадратическое отклонение прочности бетона, МПа;}$$

Выполняется «отбраковка» аномальных результатов измерений:

$$T_i = \frac{[R_i - \bar{R}]^{MAX}}{S};$$

- где T_i – критерий «отбраковки» i -го результата испытаний. Результат не учитывается при расчете, если $T_i > T_k$ (где T_k – контрольная величина, определяемая по таблице 2).

Таблица 2

Количество результатов испытаний	3	4	5	6	7	8
T_k	1.74	1.94	2.08	2.18	2.27	2.33

$$\nu = \frac{S}{\bar{R}}; \quad \text{- коэффициент вариации прочности бетона;}$$

$B^* = \bar{R}(1 - 1,64v)$; - фактическая величина, соответствующая классу бетона по прочности на сжатие В, МПа.

B - класс бетона по СП 52-101-2003 (см.Приложение 1);

R_b - расчетное сопротивление бетона по СП 52-101-2003 (см.Приложение 1).

2. Определение прочности бетона методом упругого отскока: производится аналогично определению прочности бетона ударно-импульсным методом. Результаты заносятся в табл. 3.

Таблица 3

№ опыта	Величина отскока, h , усл.ед	Прочность R_i , МПа	$\bar{R} - R_i$, МПа	$(\bar{R} - R_i)^2$, МПа	S МПа	v	B^* , МПа	B , МПа	R_b , МПа
1									
2									
3									
4									
5									
Вывод о прочности бетона:									

3. Определение временного сопротивления стали методом пластической деформации

1) Выбирается участок на поверхности исследуемой металлической конструкции (поверхность должна быть без окалины, окрашенная поверхность на выбранном участке очищается от краски и зачищается наждачной бумагой).

2) В паз прибора «Польди» вводится эталонный стержень.

3) Наносится не менее 5 ударов средней силы обычным слесарным молотком по тыльной части ударного стержня прибора, расположенного перпендикулярно поверхности выбранного участка, так, чтобы и на эталонном стержне, и на поверхности металла получились отпечатки диаметром не менее 2 мм и не более 4 мм.

4) После каждого удара эталонный стержень продвигается на 10 мм, на такое же расстояние от предыдущего отпечатка на поверхности металла передвигается прибор.

5) С помощью углового масштаба, измерительной лупы или штангенциркуля измеряются отпечатки на металле и на эталонном стержне с точностью 0,1 мм. Результаты заносятся в таблицу 4.

Таблица 4

№ удара	Диаметры отпечатков		Твердость HB_i	\overline{HB} , МПа	
	на металле d_m , мм	на эталоне $d_{эм}$, мм			
1					
2					
3					
4					
5					
Вывод:					

Обработку полученных результатов проводят по следующим формулам:

$$HB_i = HB^{эм} \frac{D - \sqrt{D^2 - d_{эм}^2}}{D - \sqrt{D^2 - d_m^2}};$$

- где HB_i - твердость металла конструкции на i -том участке испытаний;

$HB^{эм}$ – твердость эталонного стержня; $D=10$ мм - диаметр шарика;

$d_{эм}$ - диаметр отпечатка шарика на эталонном стержне;

d_m - диаметр отпечатка шарика на металле конструкции.

$$\overline{HB} = \frac{\sum_{i=1}^n HB_i}{n}$$

- среднее значение твердости металла конструкции;

$$\sigma_B = k \cdot \overline{HB}$$

- временное сопротивление металла конструкции;

- где $k=0,35$ – коэффициент для малоуглеродистых сталей.

Контрольные вопросы

1. На чем основана методика определения прочности бетона методами локальных разрушений?
2. На чем основана методика определения прочности бетона ударно-импульсным методом?
3. Какой косвенный показатель лежит в основе ударно-импульсного метода для определения прочности бетона конструкции?
4. На чем основана методика определения прочности бетона методом упругого отскока?
5. Как влияет на определение прочности бетона методом упругого отскока положение прибора в пространстве?
6. Как устанавливается градуировочная зависимость «косвенная характеристика – прочность бетона» при определении прочности бетона ударно-импульсным методом или методом упругого отскока?
7. На чем основана методика определения поверхностной твердости металла методом пластических деформаций?
8. В чем заключается подготовка поверхности металла для измерения его поверхностной твердости?

ЛИТЕРАТУРА

ГОСТ Р 53778-2010. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. М., Стандартиформ, 2010г.

ГОСТ 17624-87. Бетоны. Ультразвуковой метод определения прочности. М.: Изд-во стандартов, 1987г.

ГОСТ 18105-86. Бетоны. Правила контроля прочности. – М.: Изд-во стандартов, 1987г.

ГОСТ 21615-76. Тензорезисторы. Методы определения характеристик. – М.: Госстандарт, 1976г.

ГОСТ 22690-88. Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля. М.: Госстандарт, 1988г.

ГОСТ 22904-78. Конструкции железобетонные. Магнитный метод определения толщины защитного слоя бетона и расположения арматуры. – М.: Изд-во стандартов, 1979г.

ГОСТ 26690.2-77. Бетон тяжелый: Метод определения прочности эталонным полотком Кашкарова. – Стандарты, 1982г.

СНиП 2.03.01-84*. Бетонные и железобетонные конструкции /Госстрой СССР; МЦИТП. – М., 1985г.

СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. М.: 2004г.

СП 13-102-2003 Правила обследования несущих строительных конструкций зданий и сооружений. М.: Госстрой России. 2003г.

СП 52-101-2003 Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного натяжения арматуры М.: 2005г.

СП 52-101-2003 Предварительно напряженные бетонные и железобетонные конструкции М.: 2005г.

МГСН 2.10-04. Предпроектные комплексные обследования и мониторинг зданий и сооружений для восстановления, реконструкции и капитального ремонта – М., 2004г.

ММР 2.2.07-98. Методика проведения обследований зданий и сооружений при их реконструкции и перепланировке – М., ГУП НИАЦ, 1998г.

МРДС 02-08. Пособие по научно-техническому сопровождению и мониторингу строящихся зданий и сооружений, в том числе большепролетных, высотных и уникальных.

Руководство по определению и оценке прочности бетона в конструкциях зданий и сооружений. – М.: Стройиздат, 1979г.

Авдейчиков Г.В. Испытание строительных конструкций. – М.: АСВ 2009г.

Аронов Р.И. Испытание сооружений. – М.: Высшая школа, 1974г.

Байков В.Н., Сигалов Э.Е., Железобетонные конструкции М.: Стройиздат, 1985г.

Злочевский А.Б. Экспериментальные методы в строительной механике. – М.: Стройиздат, 1987г.

Злочевский А.Б. Изменение динамических параметров конструкций и воздействий /Моск. инж.-строит. ин-т им. В.В. Куйбышева. – М., 1988г.

Злочевский А.Б. Методы регистрации и обработки результатов динамических испытаний конструкций /Моск. инж.-строит. ин-т им. В.В.Куйбышева. –М., 1978г.

Золотухин Ю.Д. Испытания сооружений Справочное пособие Высшая школа, Минск 1992г.

Землянский А.А. Обследование и испытание зданий и сооружений. Учебное пособие. М.: 2001г.

Лещинский М.Ю. Испытание бетона: Справочное пособие. – М.: Стройиздат, 1980г.

Лужин О.В., Злочевский А.Б., Горбунов И.А., Волохов В.А. Обследование и испытание сооружений. М: Стройиздат, 1987г.

Лужин О.В., Волохов В.А., Шмаков Г.Б и др. Неразрушающие методы испытаний бетона – М.: Стройиздат, 1985г.

Почтовик Г.Я., Злочевский А.Б., Яковлев А.И. Методы и средства испытаний строительных конструкций. – М.: Высшая школа, 1973.

Почтовик Г.Я., Липник В.Г., Филонидов А.М. Дефектоскопия бетона ультразвуком в энергетическом строительстве. – М.: Энергия, 1977.

Попов Н.Н., Забегаев А.В. Проектирование и расчет железобетонных и каменных конструкций. – М.: - Высшая школа, 1989г..

Ренский А.Б., Баранов Д.С., Макаров Р.А. Тензометрирование строительных конструкций и материалов. – М.: Стройиздат, 1977.

Добромыслов А.Н. «Диагностика повреждений зданий и инженерных сооружений» М., АСВ, 2006г.

Абрашитов В.С. «Техническая эксплуатация и обследование строительных конструкций». М., АСВ, 2005г.

Луков А.В. и др. Комплексная оценка зданий и памятников истории и культуры на рынке недвижимости – М., АСВ, 2006г.

Сазыкин И.А. «Обследование и испытание сооружений (учебное пособие)». М., РГОТУПС, 2003г.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1
ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНА
(по СП 52-101-2003)

Вид сопротивления	Нормативные значения сопротивления бетона $R_{b,n}$ и $R_{bt,n}$ и расчетные значения сопротивления бетона для предельных состояний второй группы $R_{b,ser}$ и $R_{bt,ser}$, МПа, при классе бетона по прочности на сжатие										
	B10	B15	B20	B25	B30	B35	B40	B45	B50	B55	B60
Сжатие осевое (призменная прочность) $R_{b,n}$, $R_{b,ser}$	7,5	11,0	15,0	18,5	22,0	25,5	29,0	32,0	36,0	39,5	43,0
Растяжение осевое $R_{bt,n}$, $R_{bt,ser}$	0,85	1,1	1,35	1,55	1,75	1,95	2,1	2,25	2,45	2,6	2,75

Вид сопротивления	Расчетные значения сопротивления бетона для предельных состояний первой группы R_b и R_{bt} , МПа, при классе бетона по прочности на сжатие										
	B10	B15	B20	B25	B30	B35	B40	B45	B50	B55	B60
Сжатие осевое (призменная прочность) R_b	6,0	8,5	11,5	14,5	17,0	19,5	22,0	25,0	27,5	30,0	33,0
Растяжение осевое R_{bt}	0,56	0,75	0,9	1,05	1,15	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АРМАТУРЫ
(по СП 52-101-2003)

Арматура класса	Номинальный диаметр арматуры, мм	Нормативные значения сопротивления растяжению $R_{s,n}$ и расчетные значения сопротивления растяжению для предельных состояний второй группы $R_{s,ser}$, МПа
A240	6 - 40	240
A300	6 - 40	300
A400	6 - 40	400
A500	10 - 40	500
B500	3 - 12	500

Арматура классов	Расчетные значения сопротивления арматуры для предельных состояний первой группы, МПа		
	растяжению		сжатию R_{sc}
	продольной R_s	поперечной (хомутов и отогнутых стержней) R_{sw}	
A240	215	170	215
A300	270	215	270
A400	355	285	355
A500	435	300	435(400)
B500	415	300	415(360)

Примечание - Значения R_{sc} в скобках используют только при расчете на кратковременное действие нагрузки.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Лабораторная работа №1. Тензорезисторный метод исследования напряженно-деформированного состояния материала	4
Лабораторная работа №2. Ультразвуковой импульсный метод исследования свойств строительных материалов в образцах, конструкциях и сооружениях	12
Лабораторная работа №3. Освидетельствование элементов сооружений на примере железобетонной балки	20
Лабораторная работа №4. Статические испытания монорельсового пути	27
Лабораторная работа №5. Динамические испытания балки в режиме свободных и вынужденных колебаний	33
Лабораторная работа №6. Механические неразрушающие методы определения прочности материалов в конструкциях зданий и сооружений	38
Литература	46
Приложение 1. Прочностные характеристики бетона	58
Приложение 2. Прочностные характеристики арматуры	49