

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

КАФЕДРА ГЕОТЕХНИКИ И ТРАНСПОРТНЫХ КОММУНИКАЦИЙ

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к лабораторным работам по дисциплине  
*«Мосты и сооружения на дорогах»*

для студентов специальности 1-70 03 01  
*«Автомобильные дороги»*

Брест 2012

УДК 624.21.04

В методических указаниях изложена методика выполнения работ по определению характеристик материалов элементов мостовых конструкций, измерения деформаций и напряжений в них, а также определения усилий в элементах пролетных строений.

Предложенная методика может быть использована при выполнении курсового и дипломного проектов.

Составители: В.Н. Дедок, доцент  
А.А. Кобзарь, лаборант

Рецензент: заместитель главного инженера РУП «Бреставтодор»  
Ф.Я. Рапинчук,

## СОДЕРЖАНИЕ

	стр
ВВЕДЕНИЕ .....	4
1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ ЭЛЕМЕНТОВ МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ МЕХАНИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ	5
1.1 Механические методы определения прочности бетона.....	5
Лабораторная работа №1. Определение прочности бетона с помощью молотка Кашкарова.....	5
Лабораторная работа №2. Определение прочности бетона с помощью склерометра ОМШ-1.....	7
Лабораторная работа №3. Определение прочности бетона с помощью прибора ИПС МГ4.01.....	8
1.2 Механические методы определения прочности металла.....	10
Лабораторная работа №4. Определение твердости металла по методу Бринелля.....	11
2 ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБСЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ.....	12
2.1 Электромагнитный метод.....	12
Лабораторная работа №5. Определение диаметра стержневой арматуры и толщины защитного слоя бетона с использованием прибора ИЗС-10н.....	14
3 ИЗМЕРЕНИЕ ПРОГИБОВ И ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ СТАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЯХ МОСТОВ.....	15
3.1 Приборы для измерения прогибов.....	15
3.2 Приборы для измерения деформаций.....	16
Лабораторная работа №6. Техника измерения прогибов и деформаций при статических испытаниях.....	17
4 ИЗМЕРЕНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ(НАПРЯЖЕНИЙ) С ПОМОЩЬЮ ДАТЧИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ(ТЕНЗОРЕЗИСТОРОВ).....	18
Лабораторная работа №7. Измерение деформаций (напряжений) с помощью тензодатчиков.....	19
Лабораторная работа №8. Экспериментальное построение линий влияния коэффициентов поперечной установки для балочного пролетного строения.....	20
Лабораторная работа №9. Экспериментальное построение линий влияния в элементах решетчатого пролетного строения.....	21
ЛИТЕРАТУРА .....	23

## ВВЕДЕНИЕ

К транспортным сооружениям на дорогах относятся мосты, путепроводы, виадуки, трубы и другие приравненные к ним сооружения.

Основной задачей службы эксплуатации этих сооружений является безопасный пропуск по ним транспортных средств в период установленного времени, поэтому в процессе эксплуатации необходимо своевременно предупреждать возникновение в них дефектов и повреждений, выявлять их и устранять.

Дефекты и повреждения, которые влияют на работу по первой группе предельных состояний, нарушающие нормальную эксплуатацию сооружения, относятся к опасным и подлежат исправлению в первую очередь. Большую роль в выявлении дефектов и повреждений играют проводимые обследования, так как транспортные сооружения на дорогах представляют собой достаточно сложные инженерные системы.

Несмотря на развитие вычислительной техники и строительной механики, иногда без испытаний этих сооружений не обойтись, так как в конструкциях могут быть отклонения прочностных характеристик материалов, а также отклонения параметров сооружения от расчетных схем.

При обследовании и испытании сооружений определяются прочностные и деформативные свойства конструкционных материалов, выполняется сопоставление расчетных схем конструкций, усилий и перемещений, определяемых расчетным путем, с соответствующими усилиями и перемещениями, возникающими в реальной конструкции или ее модели.

Основной целью выполнения лабораторных работ является углубленное изучение студентами методик определения прочностных и деформационных характеристик материалов элементов мостовых конструкций, определение на моделях и по линиям влияния действующих в них усилий, а также освоение способов определения деформаций и напряжений в конструкциях пролетных строений.

Методические указания состоят из четырех разделов, включающих девять лабораторных работ. Перед изложением хода выполнения работ приводятся краткие теоретические сведения, дающие студентам возможность более глубоко вникнуть в суть работы, выполнить работу самостоятельно и получить более достоверные результаты.

В методических указаниях используется общепринятая терминология, которая соответствует действующим нормативным документам и государственным стандартам.

## 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ ЭЛЕМЕНТОВ МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ МЕХАНИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Все механические методы определения прочностных характеристик материалов подразделяются на разрушающие, неразрушающие и методы, вызывающие локальное разрушение бетона железобетонных элементов мостовых конструкций.

### 1.1 Механические методы определения прочности бетона

Разрушающие методы – методы основаны на исследовании стандартных бетонных кубов или призм на сжатие или изгиб до разрушения.

Неразрушающие методы – косвенные и основаны на зависимости между прочностью бетона и различными показателями, специфическими для каждого отдельного метода.

Методы локального разрушения: динамометрические клещи; определение прочности бетона испытанием на отрыв со скалыванием; скалывание ребра конструкции.

### Лабораторная работа №1

#### Определение прочности бетона с помощью молотка Кашкарова

Молоток Кашкарова предназначен для определения прочности бетона в конструкциях методом ударного воздействия по размеру отпечатка. Молоток состоит из индентора (шарика), стакана, пружины, корпуса с ручкой, головки и сменного эталонного стержня. Стержни являются расходным материалом. Общий вид прибора приведен на рис. 1.1.

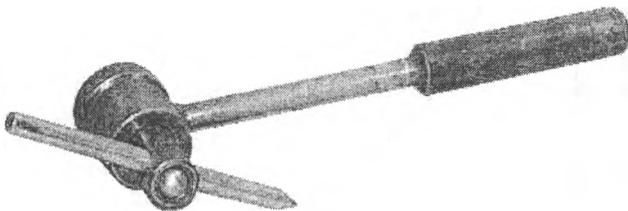
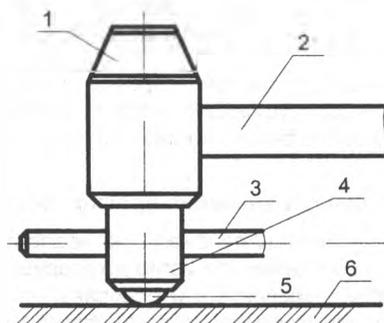


Рисунок 1.1 – Общий вид молотка Кашкарова

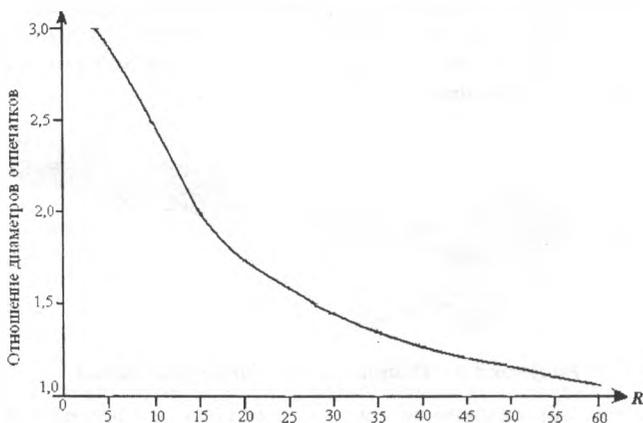
Принцип действия основан на том, что в молоток вставляется металлический стержень с диаметром 10... 12 мм и длиной 100... 150 мм из круглой прутковой стали марки ВСт.Зсп.2 или ВСт.Зпс.2 с известной прочностью – временным сопротивлением разрыву 420.. 450МПа. Затем, расположив молоток перпендикулярно к поверхности бетона, наносят удар. Испытание можно проводить двумя способами: удар наносится непосредственно молотком Кашкарова; удар наносится любым другим молотком по головке молотка Кашкарова. Расстояние между лунками на поверхности бетона должно быть не менее 30 мм, а между отпечатками на поверхности эталона – не менее 10 мм. При этом число испытаний (ударов) на исследуемом бетонном элементе принимается не менее 5. Принципиальная схема прибора приведена на рис. 1.2.



1 – головка; 2 – рукоятка; 3 – эталонный стержень; 4 – стакан;  
5 – стальной шарик; 6 – испытуемый элемент

**Рисунок 1.2 – Молоток Кашкарова**

При помощи микроскопа типа МПБ-2 с ценой деления 0.01 мм или штангенциркуля с ценой деления 0.1 мм измеряют размер отпечатков, получившихся на бетоне и стержне. Зная марку стали из которой сделан стержень (а, следовательно, и его прочность), из соотношения диаметров отпечатков по тарировочному графику (рис. 1.3) определяют прочность бетона при сжатии.



**Рисунок 1.3 – Тарировочный график**

Ход выполнения работы.

1. Расположить молоток Кашкарова так, чтобы ручка находилась в горизонтальной плоскости, а шарик снизу.

2. В полость между шариком и телом ударной части молотка вставить эталонный образец таким образом, чтобы центр будущего отпечатка-эллипса на эталоне располагался на расстоянии не менее 10 мм от центра ближайшего аналогичного отпечатка.

3. На испытываемой бетонной поверхности выбрать точку, удаленную не менее чем на 30 мм от центра ближайшей лунки, образовавшейся на бетоне в

результате предшествующих испытаний, и закрыть ее копировальной бумагой (красящей стороной – к бетону).

4. В выбранной точке установить молоток Кашкарова так, чтобы касание осуществлялось только через шарик, и нанести сильный удар по головке ударной части молотка.

5. Извлечь из полости ударной части молотка эталонный образец и произвести замер под углом  $30^\circ$  к оси эталонного образца. На поверхности бетона измерить диаметр лунки  $d_6$ . Результаты измерений занести в таблицу 1.1.

Таблица 1.1 – Результаты определения прочности бетона молотком Кашкарова

№ п/п	Диаметр лунки на бетоне $d_6$ , мм.	Диаметр отпечатка на эталоне $d_3$ , мм.	$d_6/d_3$	Прочность бетона $R_i$ , МПа	Среднее значение прочности $R_{cp}$ , МПа
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					

6. Повторить операции, изложенные в предыдущих пунктах, требуемое число раз. Вычислить отношение  $d_6/d_3$  для каждого опыта с соответствующей записью в таблицу.

7. С помощью тарировочного графика (рис. 1.3) по значениям отношения  $d_6/d_3$  определить прочность бетона при сжатии  $R_i$  и занести в табл. 1.1.

8. Вычислить осредненное значение прочности исследуемого бетона  $R_{cp}$  с записью в табл. 1.1.

## Лабораторная работа №2

### Определение прочности бетона с помощью склерометра ОМШ-1

Склерометр ОМШ-1 предназначен для оценки прочности бетона на сжатие в диапазоне 5–40 МПа в бетонных и железобетонных конструкциях и изделиях методом упругого отскока по ГОСТ 22690.1-77, ГОСТ 22690-88.

Принцип действия прибора основан на ударе с нормированной энергией бойка о поверхность бетона и измерении высоты его отскока (Н) в условных единицах шкалы прибора, являющейся косвенной характеристикой прочности бетона на сжатие. Общий вид прибора приведен на рис. 1.4.



Рисунок 1.4 – Общий вид склерометра ОМШ-1

Прочность бетона определяют по градуировочным зависимостям между высотой отскока и прочностью бетона на сжатие, заранее установленным путем параллельных испытаний контрольных кубов бетона склерометром и в прессе по ГОСТ 10180-78.

Ход выполнения работы.

1. Легким нажатием пальцем (ладонью) на сферический конец индентора приводим склерометр в исходное положение. При этом бегунок должен встать на нулевую отметку шкалы с погрешностью не более чем в две условные единицы (одно деление).

2. Выбрать места испытания на конструктивном элементе.

3. Установить склерометр в выбранную точку испытываемой поверхности перпендикулярно к ней, следя, чтобы отклонение от прямого угла не превышало 4 мм на высоте 100 мм. Удерживая склерометр за корпус двумя руками так, чтобы один палец находился у стопора, нажимаем на корпус вниз до характерного щелчка (удара).

4. Не отводя склерометр от испытываемой поверхности, нажимаем пальцем на кнопку-стопор, фиксируя положение бегунка после удара.

5. По шкале определяем высоту отскока и заносим в таблицу испытаний, табл. 1.2.

6. Привести склерометр в исходное положение и продолжить испытания в других точках.

7. Определить прочность бетона по градуировочным зависимостям между высотой отскока и прочностью бетона на сжатие приведенным на корпусе прибора.

Примечание: При испытаниях положение склерометра относительно испытываемой поверхности должно быть таким же как и при установлении градуировочной зависимости. При необходимости испытания наклонных поверхностей следует зафиксировать угол наклона между продольной осью прибора и горизонтальной плоскостью для использования соответствующей градуировочной зависимости при обработке результатов.

Таблица 1.2 – Результаты определения прочности бетона склерометром ОМШ-1

№ п/п	Высота отскока индентора	Прочность бетона $R_i$ , МПа	Среднее значение прочности $R_{ср}$ , МПа
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			

### Лабораторная работа №3

#### Определение прочности бетона с помощью прибора ИПС МГ4.01

Прибор предназначен для определения прочности бетона, раствора и строительной керамики методом ударного импульса в соответствии с ГОСТ 22690.

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

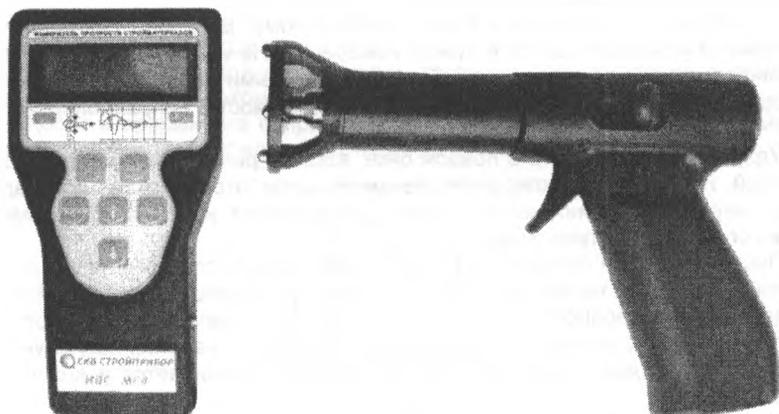
Прибор позволяет также оценивать физико-механические свойства строительных материалов в образцах и изделиях (прочность, твердость, упругопла-

стические свойства), выявлять неоднородности, зоны плохого уплотнения и др. Общий вид прибора приведен на рис. 1.5.

Конструктивно прибор выполнен в виде двух блоков:

- блока электронного;
- склерометра (преобразователя).

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



*Рисунок 1.5 – Прибор ИПС-МГ4.01*

Прибор может находиться в 5 различных режимах:

- измерение с использованием базовой зависимости;
- измерение с использованием индивидуальных зависимостей, установленных пользователем;
- просмотр Архива;
- передача архивированных данных на ПК;
- ввод характеристик индивидуальных зависимостей.

Испытания проводятся на участке размером не менее 100см изделия (конструкции) при его толщине не менее 50 мм.

Количество и расположение контролируемых участков при испытании конструкций должно соответствовать ГОСТ 18105 или указываться в стандартах и технических условиях на сборные конструкции или в рабочих чертежах на монолитные конструкции.

При определении прочности бетона обследуемых конструкций число и расположение участков должно приниматься по программе обследования, но не менее трех.

Граница участка испытания должна быть не ближе 50 мм от края конструкции. Расстояние между точками испытания (место нанесения удара) должно быть не менее 15 мм. Расстояние мест проведения испытаний до арматуры должно быть не менее 50 мм.

Места измерений на поверхности изделия (места нанесения удара) необходимо выбирать, по возможности, между гранулами щебня и между крупными раковинами.

Число испытаний на участке должно быть не менее 10.

За единичное значение прочности бетона при неразрушающем контроле, в соответствии с ГОСТ 18105, может приниматься средняя прочность бетона конструкций, определяемая как среднее арифметическое значение прочности бетона контролируемых участков конструкции, или средняя прочность бетона контролируемого участка. Дополнительные требования к контролю прочности бетона неразрушающими методами приведены в ГОСТ 18105.

Ход выполнения работы.

1. Подключить склерометр к блоку электронному. Включить питание, при этом прибор устанавливается в режим измерений. На индикаторе высвечивается информация о готовности к работе с введенными ранее (до отключения прибора) установками (вид градуировочной зависимости, направление удара и  $K_c$ ).

2. 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.

3. После установки склерометра необходимо нажать спусковой крючок, полученный результат высвечивается на индикаторе и запоминается прибором для дальнейшей обработки. Для контроля результат записываем в табл.1.3. Сброс результата с индикатора происходит в момент появления последующего замера, одновременно с результатом замера высвечивается и его номер (R01...R15).

4. Цикл измерений на одном участке состоит из 10...15 замеров (по усмотрению преподавателя).

5. После выполнения 15-ти замеров производится автоматическая обработка результата. При меньшем количестве замеров необходимо нажать кнопку **Ввод**, при этом производится обработка измерений, проведенных на участке и индикация результата. По окончании цикла измерения на индикаторе высвечивается конечный результат. Результат заносим в табл.1.3.

Таблица 1.3 – Результаты определения прочности бетона прибором ИПС МГ4.01

№ п/п	Прочность бетона $R_n$ , МПа	Среднее значение прочности $R_{cp}$ , МПа
1.		
2.		
...		
15.		

## 1.2 Механические методы определения прочности металла

Разрушающие методы предусматривают вырезание опытных образцов стандартных размеров из металлических элементов мостовых конструкций в тех сечениях, где это не приведет к опасному снижению их несущей способности, и последующее их испытание.

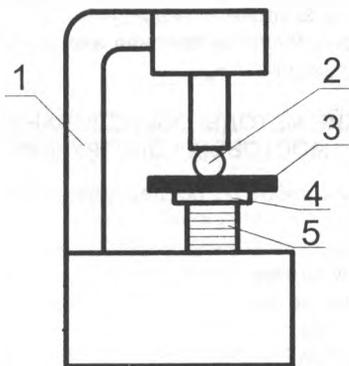
Неразрушающие методы являются косвенными и основаны на существовании корреляционной зависимости между твердостью металла и различными показателями, специфическими для каждого отдельного метода.

## Лабораторная работа №4

### Определение твердости металла по методу Бринелля

Твердость является одним из основных механических свойств любого конструкционного материала. Под твердостью понимают способность материала сопротивляться внедрению в него твердого тела – индентора.

В качестве индентора при испытании на твердость металла используют закаленный стальной шарик. При вдавливании поверхностные слои материала испытывают значительную пластическую деформацию. После снятия нагрузки на поверхности остается отпечаток. Твердость характеризует сопротивление материала пластической деформации, такое же сопротивление оценивает и предел прочности. Поэтому для целого ряда материалов численные значения твердости и временного сопротивления пропорциональны. Конструкция прибора Бринелля, для определения твердости металла приведена на рис. 1.6.



1 – станина прибора; 2 – шарик; 3 – испытываемый образец;  
4 – столик; 5 – маховичок

**Рисунок 1.5 – Прибор Бринелля**

Ход выполнения работы.

1. Исследуемый образец металла положить на столик прибора Бринелля и, придерживая образец рукой, вращением маховичка прибора добиться плотно-го касания образца и шарика;

2. Повернуть ручку приложения нагрузки до упора и после ее удержания примерно в течение 3 с. вернуть в исходное положение;

3. Отвернуть маховичок прибора, сдвинуть на несколько миллиметров исследуемый образец металла и повторить все операции требуемое количество раз;

4. При помощи микроскопа измерить диаметры отпечатков и занести в табл.1.4.

5. Определяем среднее значение твердости металла по формуле:

$$HB = \frac{0,102 \cdot F \cdot 2}{\pi \cdot D \cdot (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

где  $F$  – нагрузка на шарик,  $F = 29320$  Н;  $D$  – диаметр шарика,  $D = 10$  мм;

$d$  – диаметр отпечатка (оттиска), мм.

Результаты вычислений заносим в таблицу.

Таблица 1.4 – Результаты определения твердости бетона прибором ИПС-МГ4.01.

№ п/п	Диаметр отпечатка d, мм	Твердость металла по Бринеллю, НВ	Временное сопротивление металла $\sigma_{вд,п}$ МПа	Среднее значение прочности $\sigma_{вр,ср}$ , МПа
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				

6. По известному значению НВ определяем предел прочности материала на растяжение по зависимости:

$$\sigma_{вр} = R \cdot НВ.$$

где R = 0,34 для стали с НВ < 175, и R = 0,36 для стали с НВ > 175.

Результаты вычислений заносим в таблицу.

7. По значениям  $\sigma_{вд,п}$  вычисляется средняя величина временного сопротивления материала на растяжение –  $\sigma_{вр,ср}$ .

## 2. ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБСЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ МОСТОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В практике выполнения работ по обследованию используются следующие методы:

- ультразвуковой метод;
- магнитно-порошковый метод;
- радиорегистрирующий метод;
- радиометрический метод;
- электромагнитный метод.

Выбор метода основывается на получении требуемых результатов и существующей базы имеющегося оборудования и приборов.

### 2.1 Электромагнитный метод

Принципиальная схема испытания для обследования элементов мостовых конструкций электромагнитным методом приведена на рис. 2.1...2.2.

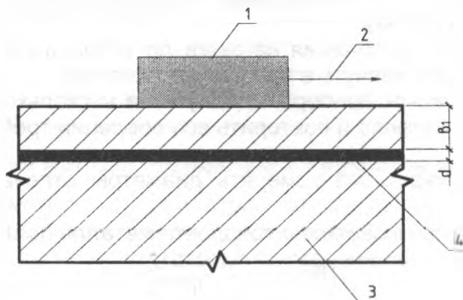
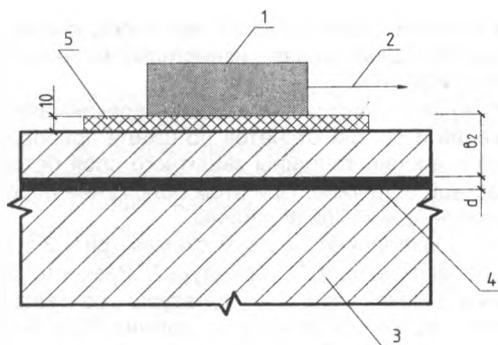


Рисунок 2.1 – Схема установки датчика без прокладки



1 – датчик; 2 – соединительный провод; 3 – исследуемая конструкция;  
4 – арматура; 5 – прокладка

**Рисунок 2.2 – Схема установки датчика с прокладкой**

Электромагнитный метод основан на изменении индуктивности датчика при изменении расстояния от него до арматуры. Указанное изменение индуктивности электромагнитного датчика регистрируется с помощью прибора ИЗС-10н, шкала которого непосредственно проградуирована в миллиметрах расстояния от датчика до арматуры.

С помощью прибора ИЗС-10н могут быть выполнены следующие измерения:

а) нахождение нормальной проекции арматурных стержней на поверхность железобетонных элементов мостовых конструкций;

б) определение с точностью до 1 мм защитного слоя стержневой арматуры известного диаметра;

в) определение с точностью до 1-2 мм диаметра стержневой арматуры при известной толщине защитного бетона;

г) определение диаметра стержневой арматуры и толщины защитного слоя бетона, если ни один из этих параметров не известен.

Для выполнения измерений, перечисленных в первых трех пунктах, достаточно схемы испытания, приведенной на рис. 2.1. Для выполнения измерений, представленных последним пунктом, наряду с этой схемой необходима и схема, приведенная на рис. 2.2.

Измерение по п. а) осуществляется перемещением электромагнитного датчика по поверхности железобетонного элемента в направлении, перпендикулярном оси арматурного стержня (при этом ось датчика должна быть параллельна оси арматуры), и наблюдение за стрелкой прибора. При уменьшении расстояния от датчика до арматуры стрелка прибора перемещается по шкале в направлении нулевого отсчета, но никогда не достигает, так как всегда имеется защитный слой бетона некоторой толщины (в случае, если арматура на некотором участке обнажена, в использовании прибора ИЗС-10н нет необходимости).

Поэтому минимальное значение показаний прибора будет соответствовать расположению электромагнитного датчика строго над арматурой, а смещение датчика приведет к отклонению стрелки прибора в направлении больших значений.

Измерение по п. б) заключается в установке переключателя “ $\emptyset$  арматуры” в положение, соответствующее заранее известному значению, и снятию отсчета по шкале прибора ИЗС-10н.

Измерение по п. в) заключается в установке переключателя “ $\emptyset$  арматуры” в различные положения и снятии отсчетов по шкале прибора до тех пор, пока не будет получено значение толщины защитного слоя бетона, соответствующее заранее известной величине. При этом положение переключателя “ $\emptyset$  арматуры” укажет значение искомой величины.

Измерение по п. г) выполняют по двум схемам (рис. 2.1 и 2.2) при различных положениях переключателя “ $\emptyset$  арматуры”. Разность отсчетов для двух схем при положении переключателя “ $\emptyset$  арматуры”, соответствующем искомой величине диаметра стержневой арматуры, должна быть численно равна толщине прокладки (см. рис. 2.2). При этом искомая толщина защитного слоя бетона численно равна соответствующему отсчету по шкале прибора при отсутствии прокладки.

### Лабораторная работа №5

#### Определение диаметра стержневой арматуры и толщины защитного слоя бетона с использованием прибора ИЗС-10н

Ход выполнения работы.

1. Привести прибор ИЗС-10н в рабочее состояние и произвести его настройку.

2. Найти нормальную проекцию арматурного стержня на поверхность исследуемого железобетонного элемента.

3. Последовательно переключая ручку “ $\emptyset$  арматуры”, снять отсчеты  $v_1$  по шкале прибора (схема – по рис. 2.1) и занести в табл. 2.1.

Таблица 2.1 – Результаты отсчетов по прибору

Положение переключателя “ $\emptyset$ арматуры”	Отсчеты по шкале прибора		$v_2 - v_1$
	$v_1$ (рис. 2.1)	$v_2$ (рис. 2.2)	
4			
5			
6			
8			
10			
12			
14			
16			
18			
20-25			
28-32			

4. Переключая ручку “ $\emptyset$  арматуры” в обратной последовательности, снять отсчеты  $v_2$  по шкале прибора (схема – по рис. 2.2) и также занести в табл. 2.1.

5. Вычислить разность отсчетов  $v_2$  и  $v_1$  с соответствующей записью в табл. 2.1.

6. Определить ближайшую к известной толщине прокладки разность  $v_2 - v_1$ , которой и будет соответствовать искомый диаметр стержневой арматуры и толщина защитного слоя бетона.

### 3. ИЗМЕРЕНИЕ ПРОГИБОВ И ДЕФОРМАЦИЙ ПРИ СТАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЯХ МОСТОВ

Испытание конструкций сооружений и отдельных их элементов вызывается необходимостью оценки состояния сооружения, его несущей способности, а также для проверки теоретических расчетов.

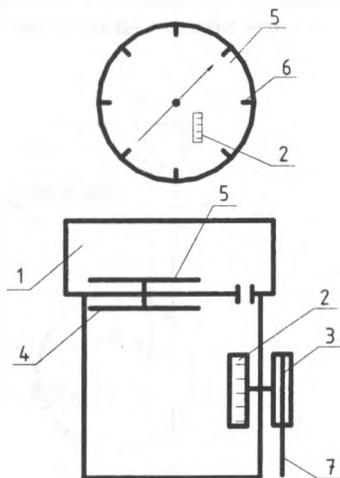
Все испытания подразделяются на два типа – статические и динамические.

При статических испытаниях нагрузка прикладывается плавно во избежание инерционных воздействий на конструкции. Нагружение может производиться путем установки на поверхность конструкции различных грузов, а также с помощью домкратов или прессового оборудования. При этом производится фиксация следующих основных видов деформации:

- прогибов;
- продольных (поперечных) фибровых деформаций;
- углов поворота элементов конструкций;
- кривизны осей элементов конструкций.

#### 3.1 Приборы для измерения прогибов

Для измерения прогибов служат приборы, называемые прогибомерами. На рис. 3.1 приведена кинематическая схема прогибомера, получившего наибольшее распространение – ПМ-2 (конструкции Максимова).



1 – металлический корпус; 2 – большой барабан; 3 – малый барабан;  
4 – ролик; 5 – стрелка; 6 – шкала; 7 – нить

**Рисунок 3.1 – Прогибомер Максимова ПМ – 2**

Принцип действия прогибомера любой конструкции основан на повороте барабана прибора и – через систему приводов – стрелки прибора. Связь между испытываемой конструкцией и прогибомером осуществляется посредством стальной проволоки диаметром около 0,4 мм, которая перекинута через барабан прибора (1–2 витка) и натянута подобно струне благодаря подвешенному

к ее свободному концу груза массой  $10 \div 30$  Н. Прогиб элемента мостовой конструкции вызывает перемещение проволоки или барабана, а следовательно, и поворот стрелки прибора.

Главным преимуществом прогибомеров является возможность измерения значительных прогибов.

### 3.2 Приборы для измерения деформаций

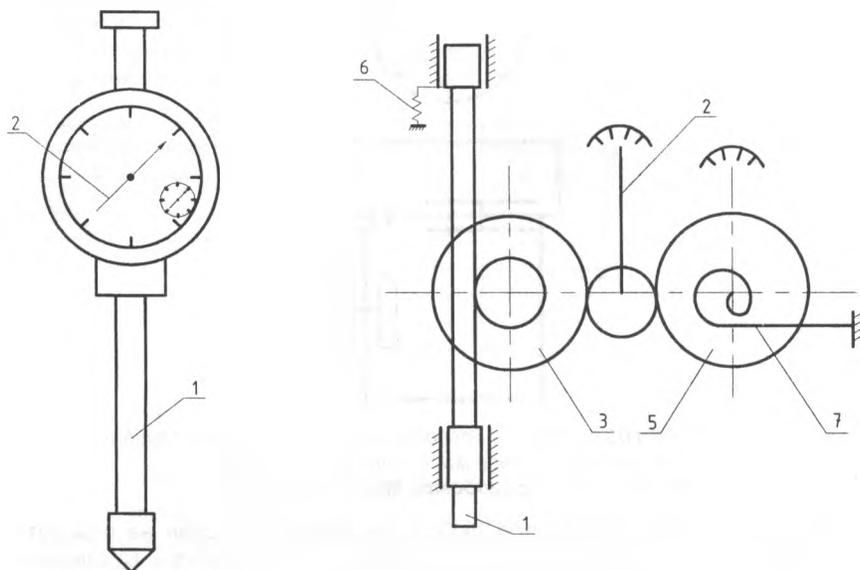
Для измерения небольших линейных перемещений (от 0,001 до 10 мм) применяются индикаторы, которые можно разделить на две группы:

- рычажно – зубчатые измерительные головки типа ИГ (ГОСТ 18833–73) и многооборотные индикаторы типа 1МИГ и 2МИГ с ценой деления 0,001 и 0,002 мм соответственно;

- индикаторы часового типа (мессуры) модели ИЧ-10м с ценой деления 0,01 мм (ГОСТ 577–68).

Измерительные головки и многооборотные индикаторы используются тогда, когда требуется высокая точность измерения. С этой целью (а также для повышения износостойкости) измерительная поверхность штифта выполнена из корунда.

Принцип действия индикатора (рис. 3.2) заключается в преобразовании поступательного перемещения штифта с жестко закрепленной на нем зубчатой рейкой во вращательное движение стрелки, один полный поворот которой соответствует смещению маленькой стрелки на одно деление вспомогательной шкалы.



1 – штифт с зубчатой кромальерой; 2 – стрелка большой шкалы;  
3,5 – шестерни; 4 – стрелка; 6 – пружина; 7 – волосок  
**Рисунок 3.2 – Индикатор часового типа модель ИЧ-10 м**

При установке индикатора на испытываемом элементе мостовой конструкции применяются, как правило, удлинители для измерения деформаций на определенной базе 100, 200 или 500 мм. При этом кронштейны закрепляются на теле конструкции с помощью клея или струбцин.

Среди преимуществ индикаторов можно отметить высокую точность измерений и небольшие размеры, среди недостатков – невозможность измерения больших перемещений без перестановки.

### Лабораторная работа №6

#### Техника измерения прогибов и деформаций при статических испытаниях

Ход выполнения работы.

1. Проверить исправность используемых приборов до их установки на испытываемой конструкции.

2. Установить приборы в расчетных сечениях.

3. Снять нулевые отсчеты при незагруженной конструкции и занести в таблицы 3.1 и 3.2.

4. Ступенчато нагружая конструкцию, снять отсчеты по приборам с записью в табл. 3.1 и 3.2.

5. Вычислить разности отсчетов и их последовательным суммированием – прогибы и деформации.

6. Построить опытные диаграммы зависимости “нагрузка – деформация” в расчетных сечениях.

Таблица 3.1 – Измерение прогибов

Нагрузка, кН	Прогибомер ПМ-2			Прогибомер ПАО-6		
	отсчет	разность отсчетов	прогиб, мм	отсчет	разность отсчетов	прогиб, мм
0						
400						
800						
1200						
1600						
2000						

Таблица 3.2 – Измерение деформаций

Нагрузка, кН	Индикатор ИЧ-10м			Индикатор ИЧ-10м		
	отсчет	разность отсчетов	деформации, мм	отсчет	разность отсчетов	деформации, мм
0						
400						
800						
1200						
1600						
2000						

#### 4. ИЗМЕРЕНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ (НАПРЯЖЕНИЙ) С ПОМОЩЬЮ ДАТЧИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ (ТЕНЗОРЕЗИСТОРОВ)

Принцип работы тензорезисторов основан на свойстве проводников или полупроводников изменять свое электрическое сопротивление при деформации. Различают три типа тензорезисторов: проволочные, фольговые, полупроводниковые.

Проволочные тензорезисторы (рис. 4.1 а) представляют собой зигзагообразную решётку, выполненную из тонкой проволоки диаметром от 2 до 30 мкм, которая наклеивается на бумажную или плёночную основу. Материалом для проволоки служат сплавы с высокой температурной стабильностью и большим удельным электрическим сопротивлением.

Недостатками проволочных тензорезисторов являются повышенная чувствительность к поперечным деформациям и снижение чувствительности к продольным деформациям. Этих недостатков лишены фольговые тензорезисторы (рис. 4.1 б), решетка которых выполнена из полосок фольги толщиной 3-10 мкм и нанесена на пленку из синтетической смолы или на бумагу, пропитанную клеем. Решетку фольговых тензорезисторов изготавливают фотолитографическим способом.

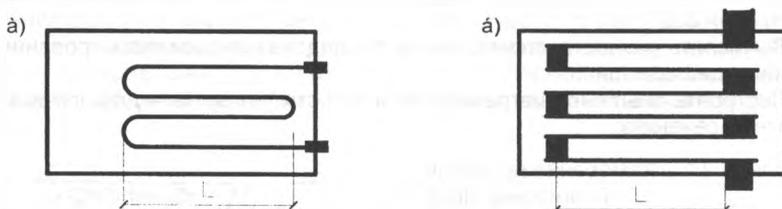


Рисунок 4.1 а) проволочный тензорезистор; б) фольговый тензорезистор

Полупроводниковые тензорезисторы применяются в виде высокочувствительного элемента и имеют монокристалл из кремния или германия. Эти тензорезисторы химически инертны и выдерживают нагрев свыше 500°C.

Датчики приклеиваются подкладкой и хорошо зачищенной поверхности испытываемого элемента мостовой конструкции так, чтобы его ориентация строго соответствовала направлению измеряемой деформации. При нагружении конструкции ее деформация передается через слой клея чувствительному элементу датчика, удлиняя или укорачивая его, в результате чего изменяется электрическое сопротивление тензорезистора, регистрируемое измерительной аппаратурой.

Основная характеристика датчика – коэффициент тензочувствительности

$$K = \Delta R / (R \cdot \varepsilon),$$

где  $R$  – электрическое сопротивление датчика (обычно 100-400 Ом);  $\Delta R$  – приращение электрического сопротивления в результате деформации датчика;  $\varepsilon$  – относительная продольная деформация датчика.

Так как деформации испытываемого элемента мостовой конструкции и наклеенного на нее тензодатчика совпадают, то напряжения в расчетном сечении вычисляются по формуле:

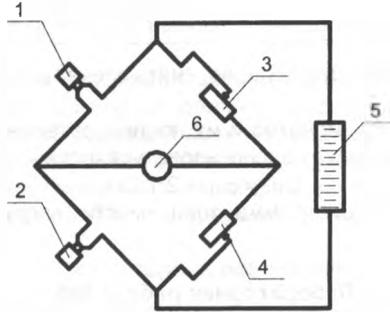
$$\sigma = E \cdot \varepsilon = (\Delta R / R \cdot K) \cdot E,$$

где  $E$  – модуль упругости материала конструкции.

$$\sigma = E \cdot \varepsilon = (\Delta R / R \cdot K) \cdot E,$$

где  $E$  – модуль упругости материала конструкции.

В процессе испытаний деформации элементов мостовых конструкций незначительны, поэтому изменение электрического сопротивления тензорезисторов очень мало и составляет доли Ома. Для точного измерения столь малых изменений сопротивления применяются мостовые схемы (рис. 4.2), основанные на методе установки нуля, суть которого заключается в выполнении равенства  $R_a \cdot R_2 = R_k \cdot R_1$ , о чем свидетельствует нулевое показание стрелки гальванометра, так как в этом случае разность потенциалов между точками А и В равна нулю. Такое состояние называется сбалансированным.



1 – рабочий датчик сопротивлением  $R_a$ ; 2 – компенсационный датчик сопротивлением  $R_k$ ; 3 – плечо моста с переменным сопротивлением  $R_1$ ; 4 – плечо моста с переменным сопротивлением  $R_2$ ; 5 – блок питания; 6 – измерительный прибор (гальванометр)

**Рисунок 4.3 – Схема включения датчиков**

После загрузки конструкции деформации тензорезистора приводят к изменению сопротивления  $R_a$  и следовательно, к разбалансировке: разность потенциалов между точками А и В уже отлична от нуля, а стрелка гальванометра отклоняется. Для возвращения стрелки на нулевое деление изменяют сопротивление  $R$ , и снимают отсчет по шкале прибора.

Роль компенсационного датчика заключается в компенсации возможного изменения температуры окружающей среды. Этот датчик наклеивается на недеформируемой части той же конструкции, на которой наклеен рабочий датчик. Так как оба датчика подбираются так, чтобы их сопротивления были одинаковыми, то изменение температуры вызовет изменение сопротивления обоих датчиков на одну и ту же величину, что не приведет к нарушению вышеприведенного равенства.

### Лабораторная работа №7

#### Измерение деформаций (напряжений) с помощью тензодатчиков

Ход выполнения работы.

1. Проверив одинаковость электрического сопротивления тензодатчиков, собрать их в мостовую схему и наклеить в расчетных сечениях испытываемой конструкции.

Таблица 4.1

Нагрузка, кН	Датчик №1			Датчик №2		
	Отсчет $b_i$	Разность отсчетов $\Delta b_i$	Напряже-ние $\sigma_i$ , МПа	Отсчет $b_i$	Разность отсчетов $\Delta b_i$	Напряжение $\sigma_i$ , МПа

3. Ступенчато загружая конструкцию, снять отсчеты с записью в эту же таблицу.

4. Вычислить разности отсчетов и их последовательным суммированием - напряжения. При этом следует воспользоваться формулой:

$$\sigma_i = \sigma_{i-1} + 2.1 \cdot \Delta b_i$$

5. Построить опытные диаграммы зависимости "нагрузка - деформация" в расчетных сечениях.

### Лабораторная работа №8

#### Экспериментальное построение линий влияния коэффициентов поперечной установки для балочного пролетного строения

Ход выполнения работы.

1. Проверив одинаковость электрического сопротивления тензодатчиков, собрать их в мостовую схему и наклеить в расчетном поперечном сечении испытываемого пролетного строения.

2. Включить регистрирующее устройство, снять нулевые отсчеты при незагруженном пролетном строении и занести в следующую таблицу 4.2.

Таблица 4.2

№ устано-вок	Балка №						$S_i$	$S_{ei} = S_i - S_0$
	1	2	3	4	5	6		
0								
1								
2								
3								
4								
5								
6								

3. Последовательно загружая пролетное строение одним и тем же грузом в направлении от 1-й балки до 6-й, снять отсчеты с записью в эту же таблицу.

4. Вычислить сумму отсчетов (по всем балкам) при каждом положении груза на пролетном строении и приращения сумм в результате нагружения с соответствующей, записью в таблицу.

5. Перенести последнюю величину в следующую таблицу 4.3.

Таблица 4.3

№ точек	$S_{el}$	Балка №			
		n =		m =	
		$\epsilon_{ni}$	$\eta_{ni}$	$\epsilon_{mi}$	$\eta_{mi}$
1					
2					
3					
4					
5					
6					

6. Вычислить деформации тензодатчиков при каждом положении груза на пролетном строении как разности соответствующих отсчетов и нулевых и занести в таблицу 4.3.

7. Вычислить ординаты поперечных линий влияния для каждой балки пролетного строения, взяв частное от деления деформаций соответствующих тензодатчиков на сумму деформаций всех тензодатчиков при каждом положении груза на пролетном строении с соответствующей записью таблицы 4.3.

8. Построить опытные линии влияния коэффициентов поперечной установки для выбранных балок пролетного строения.

### Лабораторная работа №9

#### Экспериментальное построение линий влияния в элементах решетчатого пролетного строения

Ход выполнения работы.

1. Проверив одинаковость электрического сопротивления тензодатчиков, собрать их в мостовую схему и наклеить на элементы испытываемого решетчатого пролетного строения.

2. Включить регистрирующее устройство, снять нулевые отсчеты при незагруженном пролетном строении. Снять отсчеты, последовательно загружая простое строение единичной нагрузкой в направлении от одной опоры к другой. Все отсчеты занести в таблицу 4.4.

Таблица 4.4

№ установки	Датчик №			Датчик №		
	Отсчет $b_i$	$\epsilon_i =$ $b_i - b_0$	Напряже- ние $\sigma_i$ , МПа	Отсчет $b_i$	$\epsilon_i =$ $b_i - b_0$	Напряже- ние $\sigma_i$ , МПа
0						
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						

3. Вычислить деформации тензодатчиков при каждом положении груза на пролетном строении как разности соответствующих отсчетов и нулевых и занести в эту же таблицу.

4. Вычислить напряжения в выбранных элементах пролетного строения, воспользовавшись формулой  $\sigma_i = 2.1 \cdot \varepsilon_i$ .

5. При каждом положении груза на пролетном строении найти усилия в выбранных элементах умножением соответствующих напряжений на площадь поперечного сечения элемента и построить опытные линии влияния усилий в этих элементах.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лукша Л.К., Д.Е. Гусев, Г.О. Дегиль., Ю.Ю. Олляк, В.А. Гречухин. Лабораторные работы (практикум) по курсу «Проектирование мостов» для студентов специальности 29.11 – «Мосты и транспортные тоннели» – Мн.: БПИ, 1991. – 54 с.
2. Инженерные сооружения в транспортном строительстве: учеб. для студ. высш. учеб. заведений / П.М. Саламахин [и др.]; под общ. ред. П.М. Саламахина. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 352 с.
3. Мосты и сооружения на дорогах: учеб. для студ. высш. учеб. заведений / П.М. Саламахин [и др.]; под общ. ред. П.М. Саламахина. – М.: Транспорт, 1992. – 792 с.
4. Мосты и трубы. ТКП 45-3.03-232-2011 (02250). МАиС РБ. – Минск, 2011 г.

Учебное издание

**Составители:**

Дедок Владимир Николаевич  
Кобзарь Андрей Александрович

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к лабораторным работам по дисциплине  
**«Мосты и сооружения на дорогах»**  
для студентов специальности 1-70 03 01  
**«Автомобильные дороги»**

Ответственный за выпуск: Дедок В.Н.  
Редактор: Боровикова Е.А.  
Компьютерная верстка: Кармаш Е.Л.

---

Подписано к печати 05.01.2012 г. Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Уч. изд. л. 1,5. Усл. п. л. 1,4.  
Тираж 50 экз. Заказ № 1388. Отпечатано на ризографе учреждения  
образования «Брестский государственный технический университет».  
224017, Брест, ул. Московская, 267.