

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
КАФЕДРА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

**Измерительные приборы
для проведения статических испытаний
строительных конструкций**

Методические указания к выполнению лабораторных работ
по курсам «Метрология и контроль качества в строительстве»,
«Железобетонные и каменные конструкции»
для студентов специальности 1-70 02 01
«Промышленное и гражданское строительство»
дневной и заочной форм обучения

Брест 2014

УДК 624:01:624:174.24 (075.8)

Методические указания являются одним из составных элементов учебно-методического обеспечения при выполнении лабораторных работ и предназначены для студентов специальности 1-70 02 01 (ПГС) всех форм обучения, а также могут быть использованы студентами других специальностей строительного факультета.

В краткой форме изложены основные принципы выбора измерительных приборов при организации испытаний строительных конструкций статической нагрузкой. Приводится краткое описание кинематических схем и оборудования.

Составители: Шалобьга Н.Н., доцент, к.т.н.
Бранцевич В.П., доцент, к.т.н.
Ласкевич И.Г., ассистент

1. Цель, задачи и классификация испытаний

Необходимость проведения испытаний строительных конструкций обусловлена изменчивостью физико-механических характеристик материалов, из которых они изготовлены, зависящих как от технологического процесса при изготовлении, так и от условий эксплуатации, идеализации расчетных схем, учитывающих только основные законы поведения конструкций, в процессе любого вида воздействия.

Основная задача – установление соответствия между реальным поведением строительной конструкции и её расчетной схемой в конкретный момент времени.

Испытания классифицируются:

а) по характеру внешнего воздействия – на действие статической или динамической нагрузки;

б) по длительности силового воздействия – на кратковременные и длительные;

в) по виду испытуемого элемента – испытание модели, испытание натуральной конструкции (сооружения);

г) по глубине анализа – решение линейной, плоской или пространственной задачи;

д) по назначению – научно-исследовательские, научно-опытные (при постановке на серийное производство либо внесении в конструкцию изменений, как то конструктивного или технологического характера, вида материала и т.д.);

– производственные – серийно выпускаемых изделий (если их проведение предусмотрено соответствующими стандартами);

– внеочередные – по требованию заказчика, после пожара, реконструкции, усиления и т.д.

Задача испытания детализируются в каждом конкретном случае. Например: установление расчетной схемы, разработка нового метода расчета, определение фактических деформаций (общих или местных), оценка влияния дефекта (или отступления от проекта) на действительную работу элемента, сопоставление фактических параметров (например, прочности, жесткости, трещиностойкости и т.д.) конструкции с указанными в стандарте и т.д.

Цель и задачи испытания указываются в техническом задании заказчиком. Право проведения испытаний с выдачей соответствующего заключения определяется действующими в Республике НТД на основании проверки в лаборатории уровня технического оснащения и квалификации сотрудников. Документом, дающим это право, является аттестат, выдаваемый организациями Белстандарта, в котором определяется область компетентности данной лаборатории.

2. Состав работ при проведении испытаний

При подготовке и проведении испытания осуществляются следующие виды работ:

1. Изучение технического задания, имеющейся технической и нормативной документации по объекту испытания и методам испытания.

2. Изготовление или выбор конструкции для испытания.
3. Освидетельствование конструкции перед испытанием.
4. Составление рабочей программы с методикой испытания.
5. Подготовка конструкции, оборудования и приборов к испытанию.
6. Проведение испытания.
7. Обработка результатов испытания.

Рабочая программа испытания рассматривается и утверждается в установленном порядке с учетом полноты рассмотренных в ней вопросов.

Рабочая программа должна содержать в себе следующие разделы:

1. Методика проведения испытания.
2. Рабочие чертежи конструкции.
3. Рабочие чертежи (схему) испытательного стенда.
4. Результаты проверочного расчета.
5. Мероприятия по технике безопасности.

В методике испытаний назначают:

1. Схемы опирания конструкции (условия опирания и закрепления).
2. Схемы приложения внешней нагрузки (определение вида нагрузки, ее величины, порядка и этапов приложения, длительности действия и т.д.).
3. Схему размещения приборов (выбор типа, количества и точности приборов, принципа их размещения, правил снятия отсчетов и т.д.).

3. Основные требования при разработке схемы размещения приборов

Следует придерживаться следующих правил:

1. Количество приборов принимается минимальным (исключение составляют испытания, проводимые с научно-исследовательской целью).
2. Приборы, если их много, размещают преимущественно на одной грани конструкции, вынося по другую сторону лишь контрольные, которые не должны мешать наблюдению за определяемым параметром.
3. При небольшом количестве приборов их размещают симметрично.
4. Приборы устанавливают в сечениях, где деформации, перемещения, напряжения и т.д. достигают наибольших значений и на интересующих исследователя участках. Следует избегать установки приборов на участках концентрации местных напряжений, если это не определено техническим заданием.
5. Количество сечений, а следовательно, и количество приборов, определяется в каждом конкретном случае в зависимости от цели и задач, содержащихся в техническом задании (например, исследование одно-, двух- или трехосного напряженно-деформируемого состояния и т.д.).
6. При выборе типа измерительных устройств следует отдавать предпочтение приборам, позволяющим снимать отсчеты вне опасной зоны, т.е. дистанционно.
7. В зависимости от поставленных задач определяется уровень нагружения конструкции и снятия информации, что в свою очередь требует установки определенного типа приборов, способа их крепления, снятия отсчетов и мер по их сохранности.

4. Выбор типа измерительного устройства

При выборе любого измерительного устройства руководствуются необходимостью безопасного измерения контролируемого параметра с требуемой точностью. Тип прибора определяют в зависимости от:

- вида измеряемой величины (деформация, перемещение, угол поворота и т.д.);
- величины измеряемого параметра (без перестановки прибора в процессе испытания);
- продолжительности испытания во времени;
- условий установки прибора и его базы;
- вида напряженного состояния (одно-, двух-, трехосное);
- возможности дистанционного измерения (снятия) отсчетов;
- требуемой точности измерения параметра и т.д.

5. Основные метрологические понятия и характеристики средств измерения

Под измерением понимают процесс нахождения значения физической величины путём сравнения ее с другой однородной величиной, принятой за единицу измерения.

Измерения могут быть прямыми и косвенными, необходимыми и дополнительными. Процесс измерения характеризуется рядом факторов, среди которых выделим: объект измерения, технические средства, методы измерений и внешней средой, которым сопутствуют погрешности как случайные, так и систематические.

Систематические погрешности являются постоянными (или изменяются по определенному закону) и характеризуются инструментальной погрешностью (класс точности, градуировка шкалы, люфты и т.д.), воздействием окружающей среды (температура, влажность, магнитные поля, вибрация и т.д.), качеством подготовки (дефекты поверхности, методика, квалификация специалистов и т.д.).

Случайные погрешности характеризуются стохастическими факторами.

Достоверность полученных экспериментальных данных зависит от выбранных параметров средств измерения.

Единство измерений предполагает, что результаты измерений выражены в единицах СИ и погрешности известны с заданной вероятностью.

Различают три класса точности измерений: особо точные (для установления эталонных величин), высокоточные (для градуировки средств измерения) и технические (используют на практике).

Средства измерения – это технические средства, используемые при измерениях и имеющие нормированные метрологические характеристики (см. табл. 1).

Средства измерения при испытании должны быть поверены органами Белстандарта, что подтверждается выдачей свидетельства или поставкой клейма госповерки. Периодичность поверки колеблется от 0,5 до 2 лет и зависит от типа прибора и интенсивности использования (например, после 25-кратного применения).

Таблица 1 – Основные параметры, свойства и характеристики средств измерения

№ п/п	Наименование	Определение
1	2	3
1	Цена деления	Разность значений величин, соответствующих двум соседним делениям шкалы.
2	Диапазон измерений	Область значений измеряемой величины, для которой нормированы допускаяемые погрешности средств измерений.
3	Диапазон показаний	Область значений шкалы, ограниченная конечным и начальным значениями.
4	Погрешность измерений	Допустимая НТД разность между действительной и измеренной величинами.
5	Допустимая погрешность	Наибольшая погрешность, при которой средство измерения может быть признано годным.
6	Точность измерений	Степень близости полученных результатов измерений к действительному значению измеряемой величины.
7	Достоверность измерений	Это вероятность отклонения измерения от измеряемой величины.
8	Чувствительность	Способность реагировать на изменения измеряемой величины.
9	Вариация показаний	Разность между наибольшим и наименьшим показаниями десяти измерений при одинаковом перемещении калибровочного лимба.
10	Предел измерения	Наибольшее и наименьшее значения диапазона измерений.

В процессе поверки для такого прибора устанавливают: погрешность прибора, поправочный коэффициент, чувствительность и вариацию показаний, а, при необходимости, и градуировку измерительного средства. Поверку выполняют с помощью средства измерения, точность показаний которого должна быть не менее чем в 10 раз больше точности поверяемого прибора.

6. Механизмы для создания и измерения статической нагрузки

Для нагружения используют:

- прессы гидравлические по ГОСТ 8905;
- испытательные машины;
- гидравлические домкраты с насосными станциями;
- механические рычажные установки;
- пневматические установки;
- стенды с гидравлическими домкратами и насосными станциями.

Погрешность прикладываемой нагрузки должна быть не более $\pm 5\%$ значения контрольной нагрузки.

Контроль величины нагрузки производится при помощи:

- динамометров;
- манометров;
- предварительно проградуированных по деформациям распределительных траверс или металлических тяг.

В таблице 2 даны основные характеристики прессов и испытательных машин.

Таблица 2 – Характеристика испытательных механизмов

Марка устройства		Число шкал, пределы измерений, тс	Тарированные участки шкалы	Цена деления, тс	Средняя относительная погрешность
Прессы	ИПС-1000 ПММ-1000	0...250	40...250	0,5	±1
		0...500	50...500	1,0	
		0...1000	100...1000	2,0	
	ИПС-500 ПММ-500	0...100	20...100	0,25	±1
		0...250	25...250	0,5	
		0...500	50...500	1,0	
ИПС-200 ПММ-200	0...50	8...50	0,1	±1	
	0...100	10...100	0,2		
	0...200	20...200	0,4		
Гидравлические универсальные испытательные машины	ГРМ-2А	0...20	4...20	0,04	±1
		0...50	5...50	0,10	
		0...100	10...100	0,20	
	ГРМ-1	0...10	1...10	0,02	±1
		0...25	2...25	0,05	
		0...50	5...50	0,10	
	ГМС-50	0...10	1...10	0,02	±1
		0...25	2,5...25	0,05	
		0...50	5...50	0,10	
	Ум-5	0...1,0	0,2...1,0	0,02	±1
		0...2,0	0,2...2,0	0,04	
		0...50	0,5...50	0,10	

Проверка и тарировка прессов и испытательных машин производится не реже одного раза в год.

На рисунке 1 дано конструктивное решение испытательной машины – ПММ-100, которая работает по принципу гидравлического действия, измерение усилия осуществляется маятниковым манометром. Замена груза маятника позволяет менять пределы измерений устройства.

При испытании конструкций в составе испытательного стенда используют гидравлические домкраты, характеризующиеся большой величиной усилия, плавностью хода и свойством самоторможения, что выгодно отличает их от винтовых и реечных домкратов.

Основные характеристики домкратов даны в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристика домкратов

Марка	Грузоподъемность, тс	Плунжер		Марка	Грузоподъемность, тс	Плунжер	
		ход, мм	диаметр, мм			ход, мм	диаметр, мм
ДГ-100 ДГ-200	100	155	189	Облегченные домкраты ЦНИИСКА	5	100	40
					10	100	60
	200	155	259		25	150	90
					50	150	125

На рисунке 3 дано конструктивное решение домкрата серии ДГ, действие которого основано на законе гидростатического давления, а сила, развиваемая им (без учета потерь на трение), равна площади плунжера, умноженной на давление в рабочей полости цилиндра.

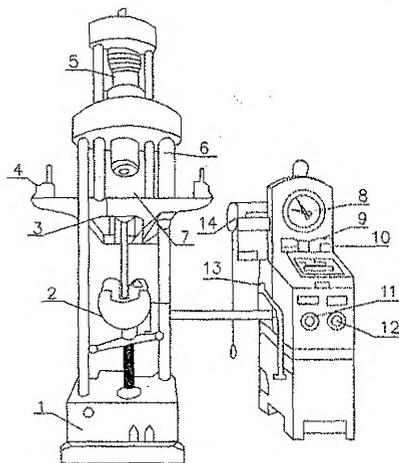
Гидродомкраты тарируют, используя образцовые домкраты III разряда или прессы марки ИПС-200, ИПС-500.

Динамометры используют для измерения величины усилия. Различают рабочие средства измерения и образцовые, используемые как для контроля работы установок, так и для их поверки. Образцовые динамометры 3-го разряда изготавливают по ГОСТ 9500 следующих типов: ДОР (растяжения), ДОС (сжатия) и ДОУ (универсальные). Выпускается 17 градаций пределов измерений от 0,01 кН до 10000 кН (вариация показаний в диапазоне от 200 до 400 кН, для динамометров до 2000 кН в размере 0,3%, и размером 0,4% для динамометров с пределом измерения свыше 2000 кН).

На рисунке 4 дано конструктивное решение пружинного динамометра, включающее тарированную полуэллиптическую пружину. В таблице 4 даны характеристики образцовых динамометров.



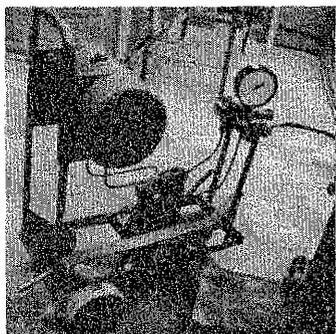
а) общий вид



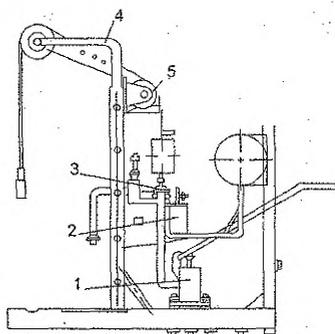
б) кинематическая схема

- 1 – выключатель для подъема нижнего захвата; 2 – нижний захват; 3 – гибочный стол;
 4 – передвижная опора; 5 – рабочий цилиндр; 6 – узел крепления гибочного штампа;
 7 – нижняя опорная плита; 8 – шкала; 9 – шкала приспособления для поддержания постоянства заданной нагрузки; 10 – кнопка для включения двигателя нагрузки; 11 – ручной маховичок;
 12 – ручной маховичок для точного управления; 13 – рычаг для нагрузки и разгрузки; 14 – прибор для записи диаграммы.

Рисунок 1 – Испытательная машина ПИМ-100



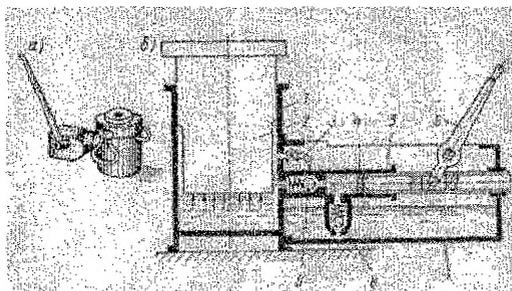
а) общий вид



б) кинематическая схема

1 – насос простого действия; 2 – масляный бачок; 3 – распределительная коробка;
4 – выдвигающаяся стрела; 5 – лебедка подъема домкрата

Рисунок 2 – Насосная станция НСР-400 с ручным приводом

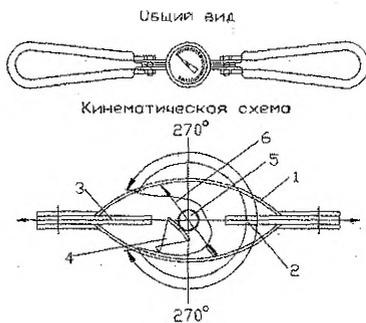


а – общий вид; б – схема работы; 1 – цилиндр; 2 – поршень; 3 – перетускованное отверстие;
4 – штопорный насос; 5 – поршень насоса; 6 – рукоятка;
7 – насосное отделение; 8 и 9 – клапанные устройства

Рисунок 3 – Домкрат серии ДГ



а) общий вид



б) кинематическая схема

1 – полуэллиптические пружины; 2 – тяга, жестко соединенная;
3 – тяга перемещающаяся; 4 – зубчатый сектор; 5 – шестеренка; 6 – указательная стрелка.

Рисунок 4 – Пружинный динамометр

Таблица 4 – Характеристика образцовых динамометров

Марка (пределы измерения, кН)	Цена деления, Н	Допустимая погрешность показаний, %	Марка (пределы измерения, кН)	Цена деления, Н	Допустимая погрешность показаний, %
ДОСМ-02 (0,2...2)	4	±0,5	ДОСМ-5 (5...50)	10	±0,5
ДОСМ-1 (1...10)	20	±0,5	ДС-50 (50...500)	100	±0,5
ДОСМ-3 (3...30)	60	±0,5	ДОСМ-50 (50...500)	100	±0,5

Для нагнетания масла в гидравлические домкраты используют плунжерные (скальные) насосные станции с ручным (НСР-400, НСР-400М) и электрическим (НСП-400, НСП-400М) приводом (см. рисунок 2).

Давление масла в системе, которое позволяет определить давление, развиваемое гидравлическим домкратом, измеряют манометрами с трубчатой пружиной. Манометры указанной конструкции выпускают с разными пределами измерений:

- технические, общего назначения (МТ100) с предельным значением шкалы 02; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,6; 2,5; 3; 4 и 5 МПа;
- технические, высокого давления (МТБ-150) - 6; 8; 10; 12; 16; 20; 25; 30; 40... до 200 МПа.

Манометры выпускают двух классов точности 2,5 и 4, т.е. с допускаемой погрешностью не более 2,5% и 4%. На рисунке 10 дано конструктивное решение манометра, принцип работы которого основан на перемещении свободного конца заключенной в корпусе трубчатой пружины пропорционально давлению жидкости (масла) внутри самой трубки.

7. Приборы для измерения линейных перемещений и углов поворота

Величина линейных перемещений при испытании кратковременной или длительно действующей нагрузкой может изменяться от нескольких миллиметров у железобетонных конструкций, до десятков сантиметров у деревянных конструкций. Поэтому для измерений используют целую группу измерительных устройств:

- прогибомеры механические с ценой деления 0,01 мм и 0,1 мм;
- индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм по ГОСТ 577;
- нивелиры и теодолиты по ГОСТ 16740, ГОСТ 11897, ГОСТ 16740;
- преобразователи перемещений;
- штангенциркули со значением по нониусу 0,05 мм и 0,1 мм по ГОСТ 166;
- линейки измерительные с ценой деления 1 мм по ГОСТ 427;
- рулетки металлические измерительные по ГОСТ 7502.

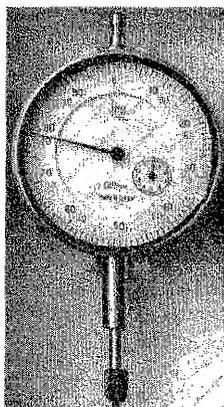
Индикаторы. Индикатор часового типа (рисунке 5) состоит из цилиндрического корпуса, внутри которого размещена вся кинематическая система прибора.

На лицевой стороне прибора под стеклом располагается кольцевая шкала и большая стрелка для регистрации отчета с ценой деления либо 0,01 мм либо 0,001мм. Для отсчета целых оборотов большой стрелки индикатора предусматривается вторая малая шкала со стрелкой.

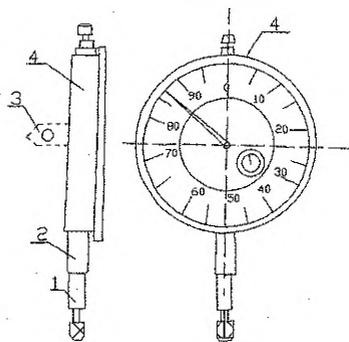
Прогибомеры. На рисунке 6 и 7 приведены конструктивные решения прогибомеров ПАО-6 и ПМ-2, наиболее часто применяемых при испытании благодаря практически неограниченному диапазону измерений.

Приборы приводятся в действие благодаря запасовке стальной проволоки вокруг шкива, соединенного с осью и системой шестерен, которые приводят в действие стрелки, регистрирующие отсчет. Цена деления шкалы ПАО-6 - 0,01 мм, ПМ-2 - 0,1 мм. Точность измерений зависит от качества (прямолинейности) проволоки, величины груза (1...3 кг), аккуратности навивки на шкив (не менее 2...3 оборотов), температуры внешней среды (1 м стальной проволоки удлиняется на 1 мм при повышении температуры на 10°C), надежности крепления прогибомера и нити к конструкции.

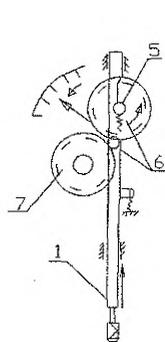
На рисунке 8 приведено конструктивное решение клинометра, прибора, применяемого при измерении углов наклона (поворота) конструкции. Принцип действия измерительных устройств заключается в возвращении рабочего элемента (пузырька воздуха, весла и т.д.) в исходное положение после наклона поверхности конструкции вместе с прибором посредством вращения калиброванного лимба и определения величины перемещения. Зная размер базы прибора, легко найти угол поворота. Основным недостатком приборов является необходимость возвращения рабочего органа в исходное состояние в процессе испытания, т.к. предел измерений находится в пределах 5...6°.



а) общий вид



б) конструктивная схема



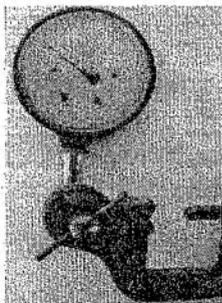
в) кинематическая схема

1 - измерительный шток с зубчатой рейкой - кремальерой; 2 - муфта; 3 - ушко;

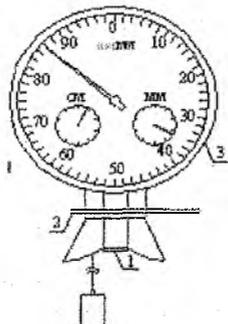
4 - цилиндрический корпус; 5 - соединительная трубка с шестеренкой;

6 - шестеренки между кремальерой; 7 - пружина

Рисунок 5 - Индикатор часового типа



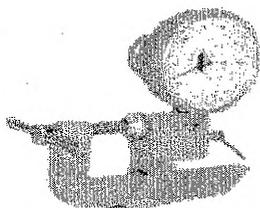
а) общий вид



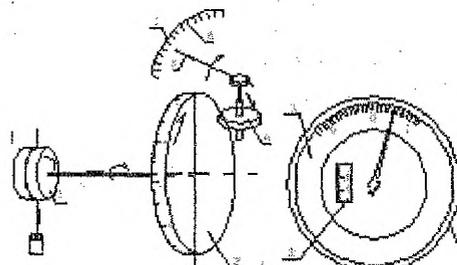
б) кинематическая схема

1 – винт; 2 – пластина; 3 – корпус; 4, 6 – малая шестерня;
5, 7 – большая шестерня; 8 – шестерня; 9 – нить; 10 – груз.

Рисунок 6 – Прогибомер Астова ПАО-6



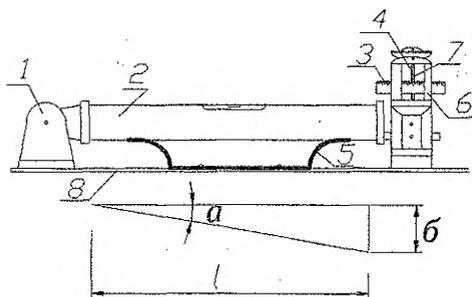
а) общий вид



б) кинематическая схема

1 – корпус; 2 – барабан; 3 – маленький барабан; 4 – ролик; 5 – стрелка; 6 – шкала

Рисунок 7 – Прогибомер Максимова ПМ-2



а) кинематическая схема

1 – проушина; 2 – уровень; 3 – лимб; 4 – указатель (нить); 5 – пружина;
6 – скоба; 7 – микрометрический винт; 8 – пластина

Рисунок 8 – Клинометр Стоппани

8. Приборы и устройства для измерения фибровых деформаций

В процессе испытания необходимо определить фактическое напряженное состояние, однако напряжение – величина условная и не поддается непосредственному измерению. Напряжение определяют косвенным способом, измеряя деформации материала, при помощи автоматического измерителя деформаций АИД-4 (рисунок 9), а затем расчетом, используя закон Гука (в упругой стадии работы) или функциональную зависимость между приведенными напряжениями (в пластической стадии работы).

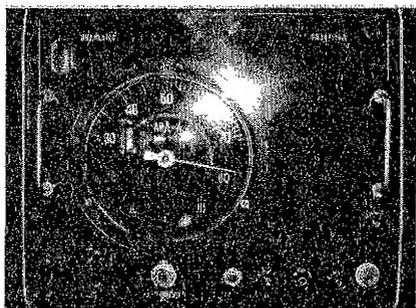
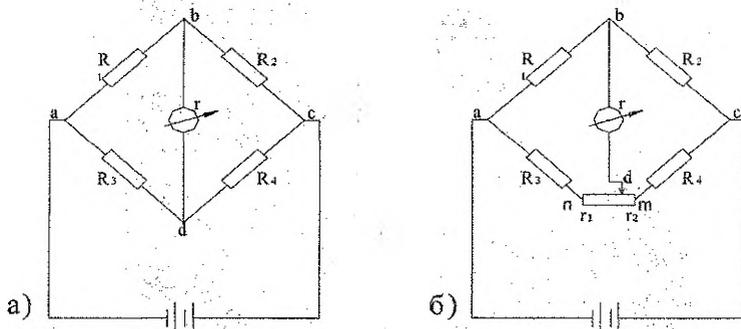


Рисунок 9 – Автоматический измеритель деформаций АИД-4

Принципиальное устройство регистрирующей аппаратуры при замера деформаций с помощью тензорезисторов представляет собой схему измерительного моста. На рисунке 10 а показана схема неуравновешенного моста (моста Уитстона), а на рисунке 10 б – схема уравновешенного моста, т.е. моста, снабженного балансировочным устройством.



а – неуравновешенный мост; *б* – уравновешенный мост. R_1 – активное сопротивление; R_2 – компенсационное сопротивление, R_3 и R_4 – сопротивления, включенные в плечи моста; r_1 и r_2 – автоматически регулирующиеся сопротивления реохорда; Γ – гальванометр

Рисунок 10 – Схемы измерительных мостов

Автоматический измеритель деформации АИД-4 имеет шкалу, разбитую на 100 делений. Шкала имеет две стрелки – большую и малую. Отсчет записывается в виде трехзначного числа, в котором первая цифра берется по малой стрелке, а две другие – по большой. Цена деления прибора $c=1 \cdot 10$.

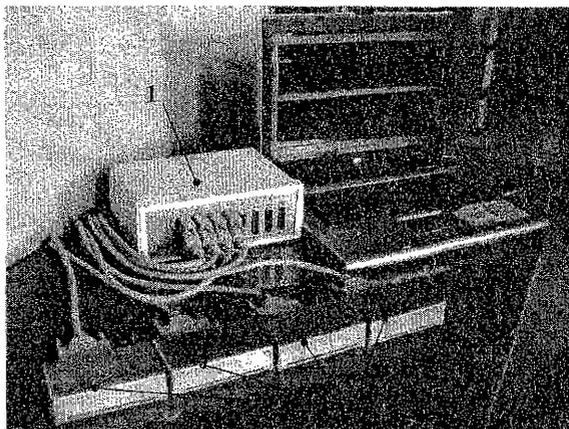
Недостатком аппаратуры типа АИД является необходимость делать ручную переключение по точкам измерения (тензорезисторам) и необходимость снимать большое число показаний путем визуального отсчета через определенные промежутки времени.

Для регистрации показаний тензорезисторов в исследовании разработан компьютерный измерительный комплекс «ТИССА-В-485/65» (рисунок 11). Данный комплекс был разработан и изготовлен соответствии с договором №14889 от 15.05.2006 года в Научно-исследовательской лаборатории «Информационно-измерительных систем» УО БГУ (г.Минск) при непосредственном участии автора. Измерительный комплекс «ТИССА-485/65» обеспечивает синхронное измерение сигналов от тензометрических резисторов по 64 измерительным каналам с частотой дискретизации сигнала в диапазоне от 1 до 10 Гц. При этом комплекс позволяет производить измерения в двух режимах: пошаговое измерение – используется при испытаниях статической нагрузкой; непрерывное измерение – для испытаний динамической нагрузкой. Результаты измерений могут быть представлены в одном из двух предложенных форматов:

- для каждого тензорезистора в виде диаграммы, описывающих изменение относительных деформаций во временном базисе (в интервале нагрузки);

- в виде диаграммы, описывающей изменение относительных деформаций в одном временном промежутке (при одном уровне прикладываемой нагрузки) по всем или группе тензометрических резисторов.

Программное обеспечение указанной измерительной системы обеспечивает возможность экспорта данных в другие программные комплексы, а также вывода результатов измерений на печать.



1 – основной измерительный модуль; 2 – блок согласования тензорезисторов
Рисунок 11 – Общий вид измерительного комплекса «ТИССА-В-485/64»

Структурная схема компьютерного измерительного комплекса для регистрации деформаций «ТИССА-В-485/65» приведена на рисунке 12. Измерительный комплекс включает в себя следующие основные модули:

- блоки согласования тензорезисторов (БСТ 1 – БСТ 8);
- блоки аналого-цифровых преобразователей (БАЦП 1 – БАЦП 8);
- блок управления и интерфейса с компьютером (БУС);
- блок питания (БП).

Блоки согласования тензорезисторов (БСТ 1 – БСТ 8) предназначены для включения регистрирующего элемента (тензорезистора) в четвертьветвевой измерительный мост. Организация подобной схемы включения тензорезисторов обеспечивается использованием в ней дополнительных образцовых резисторов. Каждый из блоков БСТ 1 – БСТ 8 обеспечивает одновременное подключение восьми измерительных тензорезисторов. Блоки согласования тензорезисторов (БСТ 1 – БСТ 8) выполнены в виде восьми выносных модулей, подключаемых к основному измерительному модулю (рисунок 11, 12). Для защиты от случайных механических воздействий каждый из блоков помещен в защитный алюминиевый корпус.

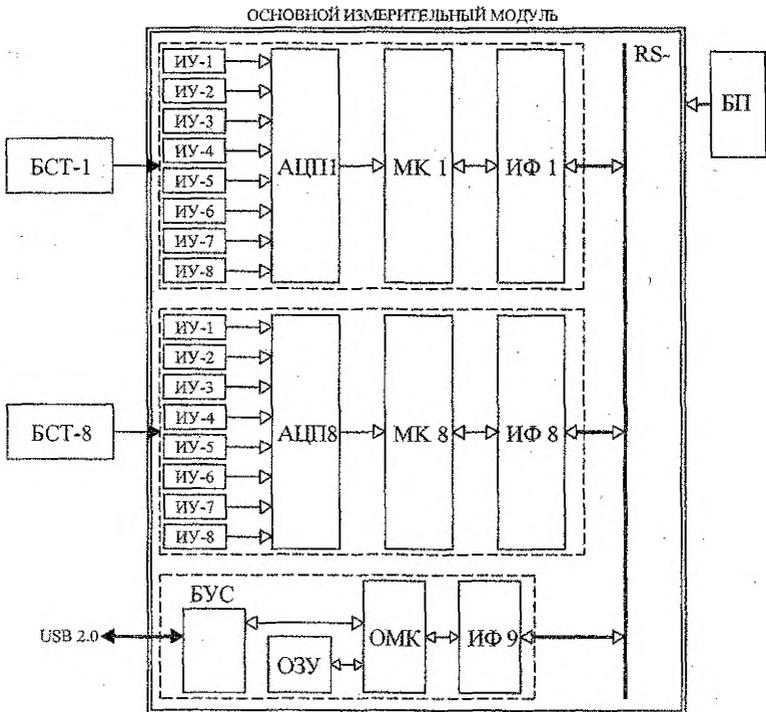
Основной измерительный модуль включает в себя восемь идентичных блоков аналого-цифрового преобразования (БАЦП 1 – БАЦП 8), к каждому из которых с помощью кабеля подключается блок согласования тензорезисторов (БСТ 1-БСТ 8). Таким образом, измерительная система имеет 64 измерительных тензометрических канала. Блок аналого-цифрового преобразования (БАЦП) содержит восемь инструментальных усилителей (ИУ), восьмиканальный аналого-цифровой преобразователь (АЦП), управляющий микроконтроллер (МК) и интерфейсную схему стандарта RS-485 (ИФ).

Блок управления и синхронизации (БУС) состоит из основного микроконтроллера (ОМК), к которому подключены интерфейсная схема стандарта RS-485 (ИФ 9), интерфейсная схема стандарта USB v 2.0 (USB) и оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) объемом 32 КБайт.

Все блоки аналого-цифрового преобразования (БАЦП) соединены друг с другом, а также с блоком управления и синхронизации (БУС) посредством шины интерфейса RS-485.

Блок питания (БП) представляет собой AC-DC адаптер, преобразующий переменный ток от сети напряжением 220В в постоянный ток напряжением 7,5 В.

В процессе испытания экспериментальных образцов, помимо регистрации относительных деформаций, для каждой ступени прикладываемой нагрузки производился ряд дополнительных (контрольных) измерений.



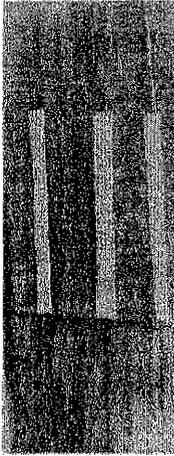
**Рисунок 12 – Структурная схема
измерительного компьютерного комплекса «ТИССА-В-485/65»**

Для измерения фибровых деформаций используют тензорезисторы, принцип работы которых основан на изменении сопротивления проводника при его деформации. На рисунке 13 показано конструктивное решение тензорезисторов, к которым предъявляются следующие требования:

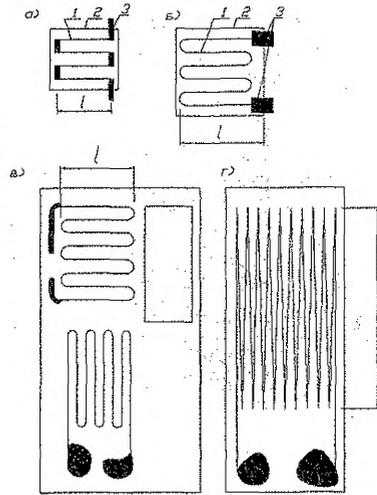
- должны иметь высокую чувствительность к статическим и динамическим деформациям;
- база измерения деформации должна соответствовать задачам исследования;
- наличие малой массы и жесткости (сопротивления деформированию);
- широкий измерительный диапазон, дистанционная регистрация и быстрое снятие отсчетов;
- быстрая установка, низкая стоимость и нечувствительность к влиянию окружающей среды.

Проволочные тензорезисторы (петлевые и безпетлевые) выпускают базой 5... 100 мм с сопротивлением от 50 до 400 Ом, проводники из сплава меди с никелем (константан, эдванс, элинвар и др.), обеспечивающих требуемый коэффициент тензочувствительности (1,9...2,2) и малый температурный коэффициент сопротивления $(1,95..2,05) \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$. Фольговые тензорезисторы обладают

высокой степенью технологичности, возможностью получения проводника любой формы, лучшими условиями закрепления и более высокими метрологическими характеристиками (см. табл. 5). Толщина фольги 4...6 мк, материал – константан (для обычных) и нихром для высокотемпературных, решетка (проводник) изготавливается методом фотолитографии.



а) общий вид



б) кинематическая схема

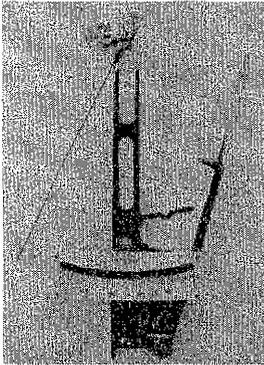
а, б – проволочные; в, г – фольговые
 1 – проволочная решетка; 2 – основание (подложка);
 3 – выводные проводники из фольги или медной проволоки;
 4 – литой микропровод

Рисунок 13 – Проводниковые тензорезисторы

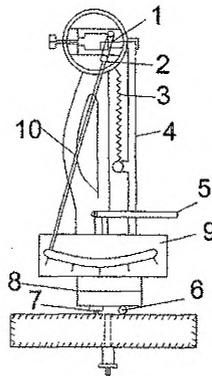
Таблица 5 – Характеристики тензорезисторов

Характеристика	Тензорезисторы		
	проволочные		фольговые
	петлевые	беспетлевые	
1. Основа	бумажная	пленочная	комбинированная фольговая
2. База I, мм			
– допустимая	2...100	1...300	0,3...200
– рекомендуемая	5...50	3...300	3...30
3. Коэффициент			
– тензочувствительности, K_p	1,8...5,6	2,0...5,6	2,0...2,3
– относительной поперечной чувствительности, K_r	0,02...0,05	≈ 0	0,01...0,02
4. Диапазон измерения, %	±(0,3...5)	±(1...15)	±(0,3...5)
5. Ползучесть, %	до 1	до 0,1	до 0,5
6. Допустимый ток, мА	10...30	5...50	20...100

Тензометры Гугенбергера и Аистова. На рисунке 14 и 15 дано конструктивное решение тензометров. Принцип работы заключается в изменении положения подвижной опоры, которая связана системой рычагов, воздействующих на стрелку. Простая конструкция и высокая точность, малые габариты и малый вес способствуют его частому применению. Однако есть и недостатки: кропотливость установки, небольшой диапазон измерения и необходимость перестановки в процессе испытания.



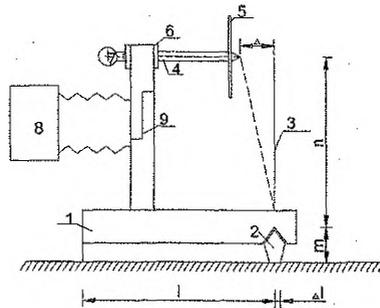
а) общий вид



б) кинематическая схема

1 – ползунок; 2 – горизонтальный рычаг; 3 – пружина; 4 – подвижный рычаг;
5 – стопорный рычаг; 6 – призма; 7 – конус; 8 – корпус; 9 – шкала; 10 – стрелка

Рисунок 14 – Тензометр Гугенбергера



1 – неподвижная призма; 2 – подвижная призма; 3 – рычаг; 4 – микрометрический винт;
5 – лимб с делениями; 6 – указатель для снятия отсчетов; 7 – счетчик оборотов;

8 – звуковой сигнал; 9 – изолятор

Рисунок 15 – Тензометр Аистова

Порядок выполнения работы

1. Методические указания выдаются студентам за 1..2 недели до проведения лабораторной работы с целью ознакомления с общим материалом.

2. Во время проведения лабораторной работы студент (группа студентов – не более 3-х человек) получает индивидуальное задание, определяющее и требующее:

2.1. Детально изучить прибор (группу приборов) по имеющейся в лаборатории дополнительной технической документации (технические паспорта, описания, руководства и т.д.)

2.2. Ознакомиться с устройством и работой натурального образца прибора.

2.3. Разработать схему установки приборов на определенной преподавателем конструкции, подлежащей испытанию в соответствии с прилагаемым техническим заданием.

2.4. Отработать вопросы методики использования приборов (установки, крепления, снятия отсчетов и т.д.).

3. Студентом составляется отчет по лабораторной работе, который должен содержать необходимые схемы, рисунки и пояснения к ним.

Литература

1. Штангенциркуль. Технические условия: ГОСТ 166-89.

2. Индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм. Технические условия: ГОСТ 577-68.

3. Манометры, вакуумметры, тягометры, тягонапорометры. Общие технические условия: ГОСТ 2405-88.

4. Теодолиты. Общие технические условия: ГОСТ10529-86.

5. Конструкции и изделия бетонные и железобетонные сборные. Методы испытаний нагружением: ГОСТ 8829.

6. Аронов, Р.И. Испытание сооружений. – М.: Высшая школа, 1974. – 182 с.

7. Крылов, Н.А. Испытание конструкций, сооружений / Н.А. Крылов, К.А. Глуховской. – Л.: Издательство литературы по строительству, 1970. – 269с.

8. Золотухин, Ю.Д. Испытание строительных конструкций. – Минск: Высшая школа, 1983. – 208 с.

9. Гринберг, В.Е. Контроль и оценка состояния несущих конструкций зданий и сооружений в эксплуатационный период / В.Е. Гринберг, В.Г. Семенов, Г.Б. Шойхет. – Л.: Стройиздат, 1982. – 19 с.

10. Долидзе, Д.Е. Испытание конструкций и сооружений: учеб. пособ. для вузов. – М.: Высшая школа, 1975. – 252 с.

11. Лужин, О.В. Неразрушающие метод испытания бетона: Совм. изд. СССР-ГДР / В.А. Волохов, Г.Б. Шмаков [и др.]; под ред. О.В. Лужина. – М.: Стройиздат, 1985. – 236 с.

12. Новицкий, П.В. Оценка прочности результатов измерений / П.В. Новицкий, И.А. Зограф. – Л.: Энергоатомиздат, 1991. – 304 с.

Учебное издание

Составитель:

Шалобыта Николай Николаевич

Бранцевич Владимир Петрович

Ласкевич Ирина Геннадьевна

Измерительные приборы для проведения статических испытаний строительных конструкций

Методические указания к выполнению лабораторных работ
по курсам «Метрология и контроль качества в строительстве»,
«Железобетонные и каменные конструкции»
для студентов специальности 1-70 02 01
«Промышленное и гражданское строительство»
дневной и заочной форм обучения

Ответственный за выпуск: Ласкевич И.Г.

Редактор: Боровикова Е.А.

Компьютерная вёрстка: Соколюк А.П.

Корректор: Никитчик Е.В.

Подписано в печать 11.04.2014 г. Формат 60x84 ¹/₁₆. Бумага «Снегурочка».

Усл. печ. л. 1,15. Уч. изд. л. 1,25. Заказ №292. Тираж 150 экз.

Отпечатано на ризографе учреждения образования «Брестский государственный
технический университет». 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.