

**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 курсу «Метрология и контроль качества в строительстве»**

**для студентов специальности**

**1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство»**

**дневной и заочной форм обучения**

Брест 2015

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 (ПС) 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 конструктивных и кинематических схем приборов.

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

## ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Цель, задачи и классификация испытаний.....	4
2. Состав работ при проведении испытаний.....	5
3. Основные требования при разработке схемы размещения приборов.....	5
4. Выбор типа измерительного устройства.....	6
5. Основные метрологические понятия и характеристики средств измерения.....	7
6. Механизмы для создания и измерения статической нагрузки.....	8
7. Приборы для измерения линейных перемещений и углов поворота.....	17
8. Приборы и устройства для измерения фибровых деформаций.....	23
Порядок выполнения работы.....	29
Контрольные вопросы.....	29
Список использованных источников.....	30

## 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 испытываемого элемента – испытание модели, испытание натурной конструкции (сооружения);

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

д) по назначению – научно-исследовательские, научно-опытные (при поставке на серийное производство либо внесении в конструкцию изменений, как конструктивного, так и 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 детализируется 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 ИТД 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.).

В зависимости от цели и задач, поставленных при испытании, рабочая программа и методика проведения испытания могут разрабатываться в индивидуальном порядке для конкретной конструкции, а могут быть использованы типовые разработки для серийно изготавливаемых изделий.

### **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.

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. Приборы должны фиксировать чистые перемещения испытываемой конструкции, а не перемещения конструкции со стендом.

7. Следует избегать установки приборов на участках концентрации местных напряжений, если это не определено техническим заданием.

8. При выборе типа измерительных устройств следует отдавать предпочтение приборам, позволяющим снимать отсчёты вне опасной зоны, т. е. дистанционно.

9. В зависимости от поставленных задач определяется уровень нагружения конструкции и снятия информации, что в свою очередь требует установки определенного типа приборов, способа их закрепления, 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);

- требуемой точности измерения параметра и т.д.

Линейные перемещения и деформации измеряют тензодатчиками, индикаторами часового типа, прогибомерами и преобразователями, сдвигомерами.

Углы поворота измеряют клинометрами, отвесами и преобразователями.

Фибровые деформации измеряют тензорезисторами и преобразователями.

Усилия измеряют динамометрами и преобразователями.

Используемые приборы должны обеспечивать требуемую точность измерения искомой величины. Например, при измерении прогибов и осадок опор должны быть соблюдены следующие требования:

- ошибка при измерении полной величины действительного прогиба при контрольной нагрузке не должна превышать 5% от теоретической величины прогиба, рассчитанного от той же нагрузки;

- измерение прогиба и осадки опор производить с точностью не ниже  $\pm 0,5$  мм (для серийно выпускаемых конструкций) и  $\pm 0,1$  мм (для изделий, подготавливаемых к массовому производству).

Гидравлические домкраты и другие устройства для нагружения должны обеспечивать:

- создание усилия, необходимого для приложения контрольной или разрушающей нагрузки;

- грузоподъемность каждого механизма не должна превышать удвоенного значения усилия, развиваемого им в конкретном сечении при испытании;

- стабильность поддержания установленной величины усилия длительное время;

- производить нагружение с погрешностью не более  $\pm 5\%$  от значения контрольной нагрузки;

- манометры должны применяться не ниже класса 2,5;

- максимально создаваемая при испытании нагрузка должна давать отчет в интервале 0,2...0,8 шкалы измерительного прибора;

- цена деления шкалы должна обеспечивать измерение нагрузки на этапе с точностью не менее  $\pm 5\%$ .

## 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 внешнюю среду, 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).

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 допускаемые погрешности средств измерений.
3	Предел измерения	Наибольшее и наименьшее значения диапазона измерений.
4	Диапазон показаний	Область значений шкалы, ограниченная конечным и начальным значениями.
5	Погрешность измерений	Допустимая разность между действительной и измеренной величинами.
6	Допустимая погрешность	Наибольшая погрешность, при которой средство измерения может быть признано годным.
7	Точность измерений	Степень близости полученных результатов измерений к действительному значению измеряемой величины.
8	Достоверность измерений	Это вероятность отклонения измерения от измеряемой величины.
9	Чувствительность	Способность реагировать на изменения измеряемой величины.
10	Вариация показаний	Разность между наибольшим и наименьшим показаниями десяти измерений при одинаковом перемещении калибровочного лимба.

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).

В процессе поверки прибора устанавливаются: 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.

В таблице 1 приведены основные параметры, свойства и характеристики средств измерения.

## 6. МЕХАНИЗМЫ ДЛЯ СОЗДАНИЯ И ИЗМЕРЕНИЯ СТАТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

Для приложения статической нагрузки 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.

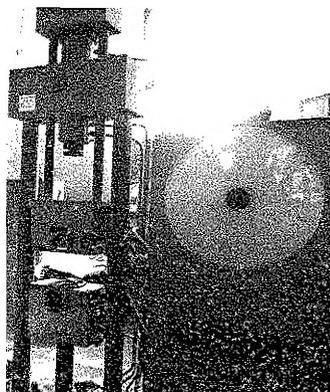
К грузовым механизмам относятся испытательные прессы и машины, гидравлические и винтовые домкраты, тали, полиспасты и лебедки.

Испытательными прессами и машинами оборудуются лаборатории для испытания строительных материалов и конструкций. Для проведения статических испытаний на сжатие, поперечный и продольный изгиб стандартных образцов, деталей, узлов строительных конструкций промышленностью выпускаются следующие прессы: ПММ-1000, ПММ-500, ПММ-200 и ПММ-125; универсальные машины для статических испытаний на растяжение, сжатие, изгиб и загиб: УММ-200, Р-100, Р-50, Р-20, Р-10, Р-5, Р-0,5, Р-20, МР-0,5-1, РМУ-0,05-1 с наибольшей нагрузкой 9800-0,5кН; прессы для проведения статических испытаний стандартных образцов строительных материалов: П-500, П-250, П-125, П-50, П-10, П-5, П-2,5 с предельной нагрузкой 4900-24,5 кН. В таблице 2 даны основные характеристики прессов и испытательных машин.

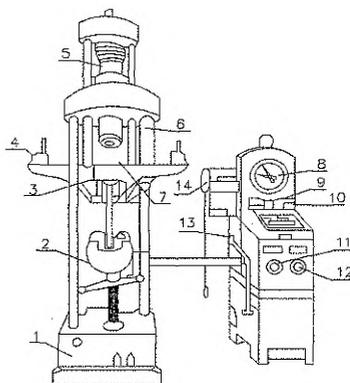
Таблица 2 – Характеристика испытательных механизмов

Марка устройства		Число шкал, пределы измерений, кН	Цена деления, кН	Средняя относительная погрешность
Прессы	ИПС-1000 ПММ-1000	0...250	5	±1
		0...500	10	
		0...1000	20	
	ИПС-500 ПММ-500	0...100	25	±1
		0...250	5	
	0...500	10		
ИПС-200 ПММ-200	0...50	1	±1	
	0...100	2		
	0...200	4		
Гидравлические универсальные испытательные машины	ГРМ-2А	0...20	0,4	±1
		0...50	1	
		0...100	2	
	ГРМ-1	0...10	0,2	±1
		0...25	0,5	
		0...50	0,1	
	ГМС-50	0...10	0,2	±1
		0...25	0,5	
		0...50	0,1	
	УМ-5	0...1,0	0,2	±1
		0...2,0	0,4	
		0...50	0,1	

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



общий вид испытательной машины марки Р-10

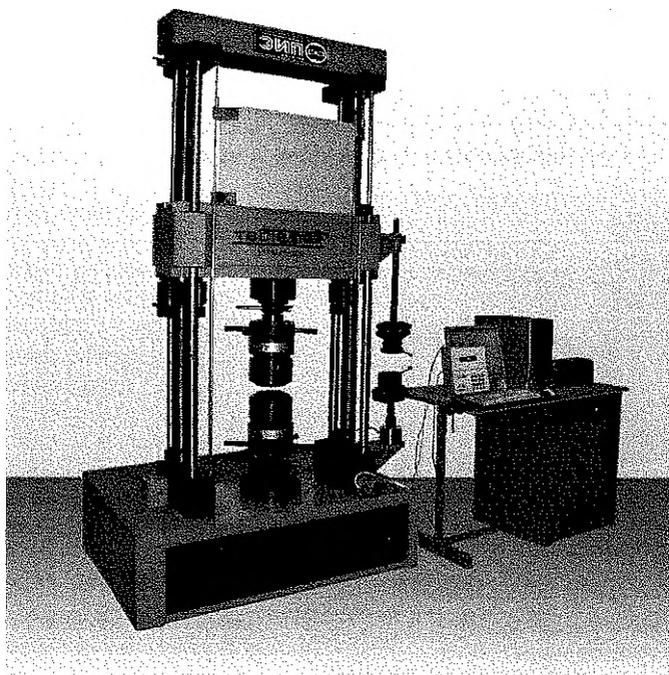


кинематическая схема испытательной машины УММ-100

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

На рисунке 1 дан общий вид испытательной машины марки Р-10 и конструктивное решение испытательной машины марки УММ-100, которая работает по принципу гидравлического действия, измерение усилия осуществляется маятниковым манометром. Замена груза маятника позволяет менять пределы измерений устройства, а на рисунке 2 показана разрывная машина ИР-5145-500. Машина предназначена для испытания образцов из металла на растяжение. При испытаниях обеспечивается диалоговый режим ввода параметров испытания с клавиатуры ЭВМ, построение диаграммы испытания в реальном времени, автоматический расчет результатов испытания. Разрывная машина состоит из испытательной установки с электромеханическим приводом, шариковых винтовых передач и тензорезисторного датчика силы, приборной стойки с блоками силоизмерения, управления приводом и микропроцессором, ПЭВМ и печатающего устройства, захватов ЗРГ-500-1 для образцов с резьбовыми головками. Диапазон испытательных нагрузок 0...500 кН. Погрешность измерения нагрузки в диапазоне от 0,04 до верхнего предела  $\pm 1$  % от измеряемой величины.

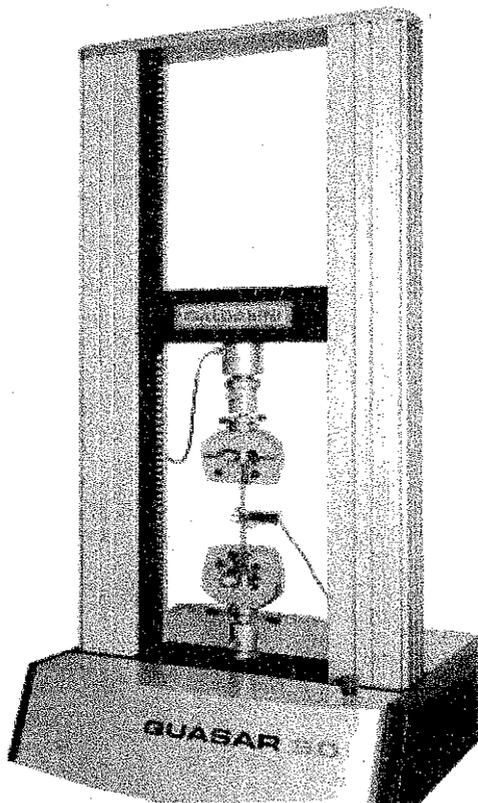


*Рисунок 2 – Разрывная машина ИР-5145-500*

Универсальная испытательная машина Quasar 25 (рисунок 3) применяется при испытаниях разнообразных материалов на растяжение, сжатие, изгиб, адгезию и т.д. Машины серии Quasar при небольших габаритах позволяют прово-

дить всевозможные испытания прямо на столе в лаборатории или в цехе, дополнительная подготовка помещения для этого не требуется.

Рама с двумя колоннами высокой жесткости, гарантирующей высокое статическое и динамическое сопротивление, устанавливается на пол. Между колоннами располагается подвижная траверса. Форма колонны позволяет устанавливать дополнительное оборудование и измерительные приборы.



*Рисунок 3 – Испытательная машина QUASAR*

Программирование испытаний и отображение результатов осуществляется с помощью программного обеспечения Graphwork 5.0, которое дает возможность полного и точного управления данными в соответствии с европейскими, североамериканскими и международными стандартами.

Graphwork 5.0 позволяет задавать программу испытаний: регулировать скорость загрузки, условия окончания испытаний, характер загрузки (статический или динамический) и т.д.

Кроме этого, программное обеспечение позволяет в режиме реального времени наблюдать за контролируемыми величинами (выбирается пользователем):

нагрузка, напряжение, продольные и поперечные деформации образца, модуль упругости. По результатам испытаний автоматически строится графическая зависимость, которая может обрабатываться как непосредственно в программном обеспечении Graphwork 5.0, так и может быть передана в другие приложения: Paint, Microsoft Excel, Microsoft Word, Блокнот и т. д.

Чрезвычайно высокое разрешение по силе и считыванию перемещений, при минимальной скорости 0.0005 мм/мин, обеспечивают высокую точность результатов испытаний.

Наиболее удобными грузовыми механизмами для испытаний являются гидравлические домкраты с различным ходом поршня (рис.4). Усилие, развиваемое гидравлическим домкратом, равно давлению в цилиндре, взятому с учетом сопротивления на преодоление сил трения, умноженному на площадь плунжера.

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.

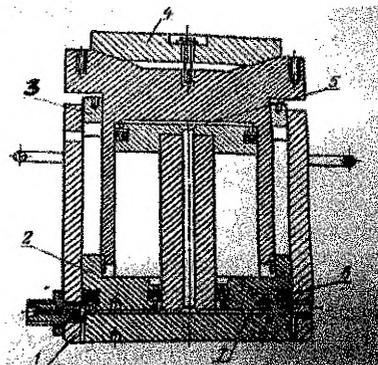
Таблица 3 – Характеристика домкратов

Марка	Грузоподъемность, кН	Плунжер		Марка	Грузоподъемность, кН	Плунжер	
		ход, мм	диаметр, мм			ход, мм	диаметр, мм
ДГ-100	100	155	189	Облегченные домкраты ЦНИИСКа	50	100	40
ДГ-200	200	155	259		100	100	60
					250	150	90
					500	150	125

На рисунке 4 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.



а) общий вид



б) кинематическая схема

1 – цилиндр; 2 – составной плунжер; 3 – гайка ограничения хода;  
4 – сферическая опора; 5,7 – рабочие полости; 6 – манжеты

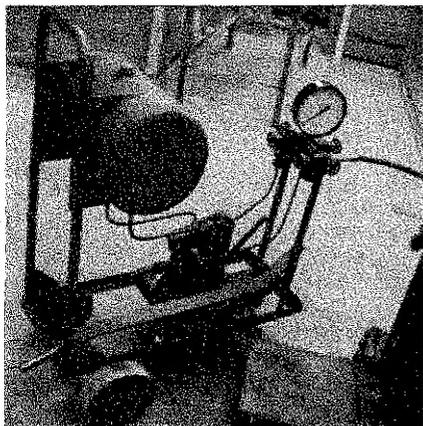
Рисунок 4 – Домкрат серии ДГ

Гидродомкраты тарируют, используя образцовые домкраты III разряда или прессы марки ИПС-200, ИПС-500. 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 5, 6).

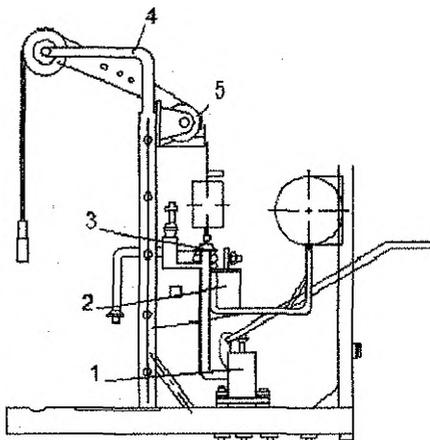
Насосная станция может обслуживать одновременно три домкрата. Усилие, развиваемое домкратом, определяется по показанию технического манометра класса не ниже 2,5, измеряющего давление с точностью до  $\pm 2,5\%$ . Гидравлические домкраты и манометры выбираются с таким условием, чтобы обеспечить передачу на испытываемую конструкцию заданных усилий на каждом этапе загрузки при соблюдении необходимой точности. Каждый домкрат вместе с насосной станцией и всей гидросистемой также подлежат обязательной поверке с помощью образцовых динамометров или на испытательных прессах.

Грузоподъемная сила домкрата не должна превышать более чем в 2-2,5 раза теоретическую разрушающую нагрузку для конструкции, ход поршня должен быть достаточным для доведения её до разрушения. Если прогиб конструкции превышает ход поршня, производят перестановку домкрата или применяют специальные домкраты с перехватом поршня упорной гайкой, позволяющие в процессе испытания совершать без перестановки до трех перехватов.

Винтовые домкраты, тали, полиспасты и лебедки при испытаниях конструкций применяют обычно в тех случаях, когда необходимо создавать небольшие усилия, например имитирующее поперечное усилие от торможения мостового крана при испытании колонны.



а) общий вид



б) кинематическая схема

1 – насос простого действия; 2 – масляный бачок; 3 – распределительная коробка;

4 – выдвигаемая стрела; 5 – лебедка подъема домкрата

**Рисунок 5 – Насосная станция НСР-400 с ручным приводом**



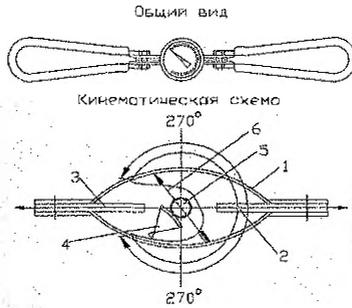
*Рисунок 6 – Насосная станция с электроприводом*

Динамометры используют для измерения величины усилия. В таблице 4 даны характеристики образцовых динамометров.

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	$\pm 0,5$	ДОСМ-5 (5...50)	10	$\pm 0,5$
ДОСМ-1 (1...10)	20	$\pm 0,5$	ДС-50 (50...500)	100	$\pm 0,5$
ДОСМ-3 (3...30)	60	$\pm 0,5$	ДОРМ-50 (50...500)	100	$\pm 0,5$

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 7 дано конструктивное решение пружинного динамометра, включающее тарированную полуэллиптическую пружину.



1 — полуэллиптические пружины; 2 — тяга, жестко соединенная;  
 3 — тяга перемещаемая; 4 — зубчатый сектор; 5 — шестеренка; 6 — указательная стрелка.  
 Рисунок 7 — Кинематическая схема пружинного динамометра

Давление масла в системе, которое позволяет определить давление, развиваемое гидравлическим домкратом, измеряют манометрами с трубчатой пружиной. На рисунке 8 дано конструктивное решение манометра, принцип работы которого основан на перемещении свободного конца заключенной в корпусе трубчатой пружины пропорционально давлению жидкости (масла) внутри самой трубки.

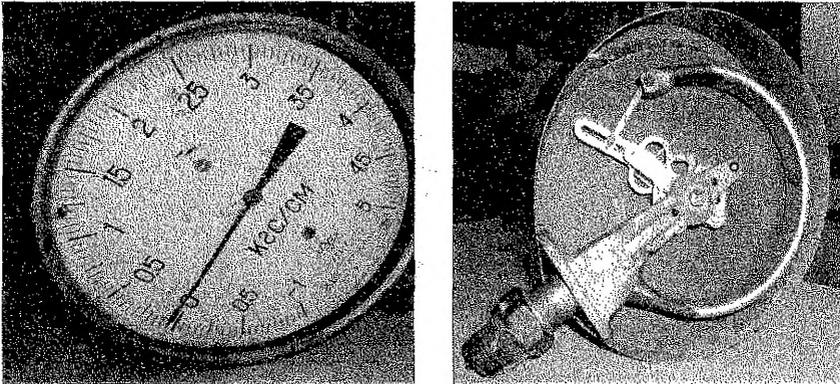


Рисунок 8 — Гидравлический манометр

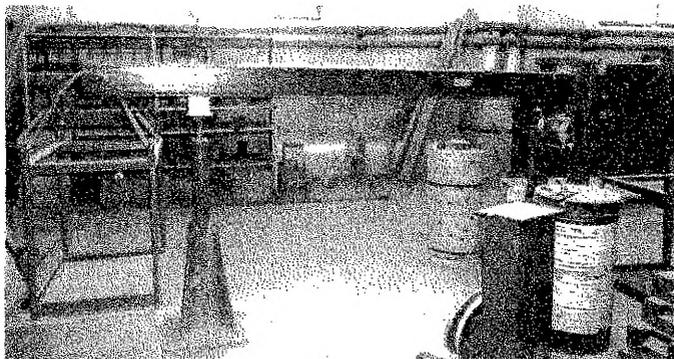
Манометры указанной конструкции выпускают с разными пределами измерений:

- технические, общего назначения (МТ100) с предельным значением шкалы 0,2; 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%. Перед испытаниями все манометры поверяются по образцовому контрольному манометру класса 0,2.

Для приложения статической нагрузки используют также механические рычажные установки. На рисунке 9 представлена механическая рычажная установка.

новка, используемая при проведении испытаний строительных конструкций на кратковременные и длительные нагрузки.



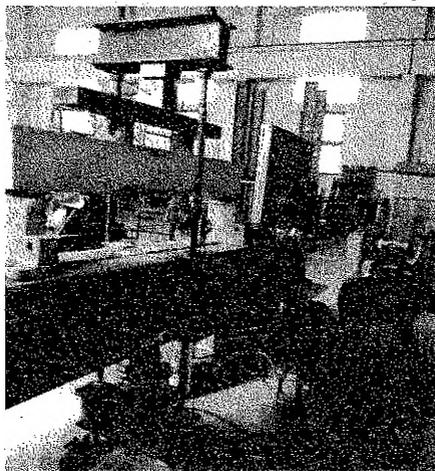
*Рисунок 9 – Механическая рычажная установка*

Для испытания конструкций в полевых условиях применяют простейшие и сборно-разборные стенды, в заводских и лабораторных условиях – стенды с использованием сжатого воздуха, домкратные установки, стационарные, механизированные и автоматизированные стенды.

Простейшие стенды имеют две или четыре опоры, выполненные из кирпича, бетона или сборных железобетонных элементов.

Стационарные стенды состоят из силовой железобетонной плиты с ручьями для установки металлических тяжей, воспринимающих усилия от гидравлических домкратов, комплекса траверс, опор и страховочных приспособлений.

В научно-исследовательских институтах нашли применение механизированные и автоматизированные стенды.



*Рисунок 10 – Стенд с гидравлическими домкратами и насосной станцией*

## 7. ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ И УГЛОВ ПОВОРОТА

Основная задача статических испытаний строительных конструкций – выявление их напряженно-деформированного состояния под нагрузкой, оценка несущей способности, жесткости и трещиностойкости конструкций.

Растяжение, сжатие, изгиб, кручение, срез в конструкциях сопровождаются линейными деформациями, прогибами, изменениями углов поворота и сдвигами. Измерение перечисленных деформаций производится специальными приборами как с непосредственным снятием отсчетов по шкалам (показывающие приборы), так и с помощью измерительных преобразователей, работающих дистанционно.

Большие линейные деформации и перемещения, а также прогибы измеряют прогибомерами и индикаторами часового типа.

Углы поворота измеряют клинометрами, смещение параллельных волокон при сдвиге – сдвигомерами.

Измерение фибровых деформаций производят, используя АИД-4, измерительный комплекс ТИССА-485/65, тензометры и тензорезисторы. По деформациям определяют напряжения, используя при упругой работе материала закон Гука, а при пластической – инвариантные величины интенсивности касательных и нормальных напряжений.

При испытаниях строительных конструкций, кроме перечисленных, применяют и другие приборы: микроскопы, шупы, щелемеры, ультразвуковую аппаратуру, геодезические приборы и инструменты и т.д.

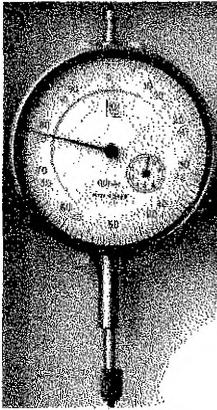
Величина линейных перемещений при испытании кратковременной или длительно действующей нагрузкой может изменяться от нескольких миллиметров у железобетонных конструкций, до десятков сантиметров у деревянных конструкций. Поэтому для измерений используют целую группу измерительных устройств:

- прогибомеры механические с ценой деления 0,01 мм и 0,1 мм;
- индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм по ГОСТ 577 либо 0,001 мм;
- 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.

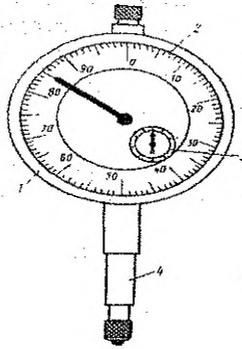
**Индикаторы.** Индикаторы применяют для измерения небольших перемещений от 0,001 мм до 10 мм. В зависимости от цены деления шкалы их можно разделить на две группы: 1) рычажно-зубчатые измерительные головки типа ИГ (ГОСТ 18833–73), многооборотные индикаторы типа 1МИГ и 2 МИГ с ценой деления 0,001–0,002 мм; 2) индикаторы часового типа модели ИЧ10М с ценой деления 0,01 мм (ГОСТ 577–68\*).

Индикатор часового типа (рисунок 11, 12) 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 0,001 мм.

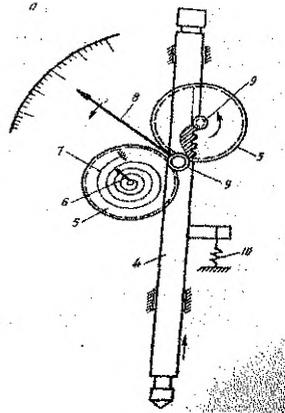
Для отсчета целых оборотов большой стрелки индикатора предусматривается вторая малая шкала со стрелкой.



а) общий вид



б) конструктивная схема



в) кинематическая схема

1 — корпус; 2 — большая шкала; 3 — малая шкала; 4 — люфт с зубчатой кремальерой; 5 — шестеренки; 6 — малая стрелка; 7 — волосок; 8 — большая стрелка; 9 — трибки; 10 — пружина

Рисунок 11 — Индикатор часового типа



Рисунок 12 — Многооборотный индикатор МИГ-1

Измерительные головки и многооборотные индикаторы предназначены для измерения линейных перемещений с высокой точностью. Они имеют механизм установки стрелки на нуль и арретир для подъема измерительного штока. Измерительная поверхность штифта для повышения его износоустойчивости и точности выполнена из корунда.

При испытаниях конструкций многооборотные индикаторы и измерительные головки, как правило, применяют с удлинителем для измерения деформации на определенной базе длиной 100, 200, или 500 мм, например при исследовании ползучести или усадки бетона, при длительных наблюдениях за конструкцией и т.д. Индикатор модели ИЧ10 м, устанавливается на штативе с непосредственным упором штифта в испытываемую конструкцию или крепится к самой конструкции с упором штифта в неподвижную точку, не связанную с конструкцией.

Обработка показаний индикаторов производится по формуле:

$$\Delta l = (c_2 - c_1) mk,$$

где  $c_1$  — начальный отсчет по шкале прибора;

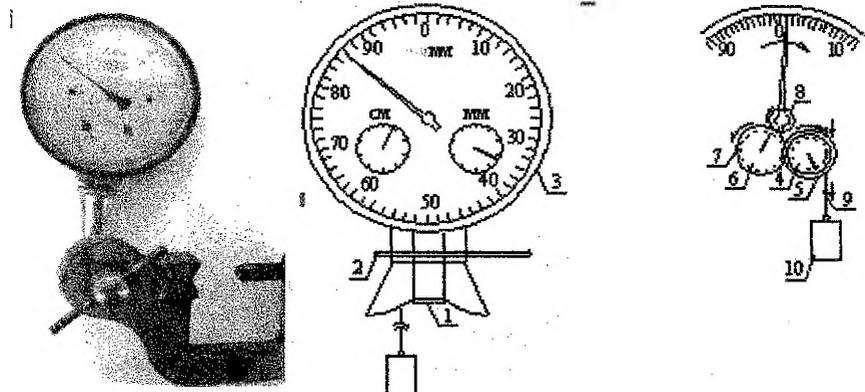
$c_2$  — последующий отсчет;

$m$  — цена деления;

$k$  — поправочный коэффициент, определяемый при градуировании.

Преимущества индикаторов — высокая точность измерения и небольшие размеры, недостатки — невозможность измерения без перестановки перемещений более 10 мм.

**Прогибомеры.** Наибольшее распространение получили прогибомеры Н.Н. Максимова и Н.Н. Листова с проволочной связью, имеющие неограниченный диапазон измерений. Более совершенным является прогибомер Аистова-Овчинникова ПАО-6.



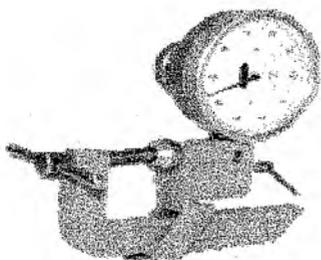
а) общий вид

б) кинематическая схема

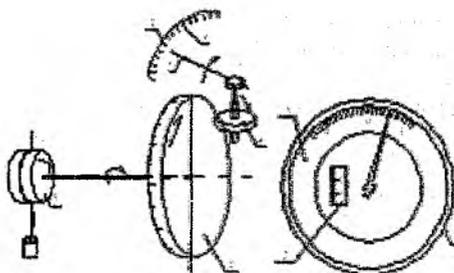
1 — винт; 2 — пластина; 3 — корпус; 4, 6 — малая шестерня;  
5, 7 — большая шестерня; 8 — шестерня; 9 — нить; 10 — груз.

**Рисунок 13 — Прогибомер Аистова ПАО-6**

На рисунке 13 и 14 приведены конструктивные решения прогибомеров ПАО-6 и ПМ-2, наиболее часто применяемых при испытании благодаря практически неограниченному диапазону измерений.



а) общий вид



б) кинематическая схема

1 – корпус; 2 – барабан; 3 – маленький барабан; 4 – ролик; 5 – стрелка; 6 – шкала  
**Рисунок 14 – Прогибомер Максимова ПМ-2**

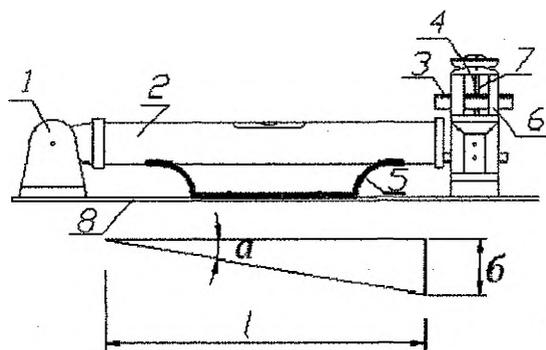
Внутри металлического корпуса прибора (рисунок 13) расположена пара шестеренок, вращающихся в подшипниках. С помощью струбины он крепится к штативу или к испытываемой конструкции. Прибор приводится в действие благодаря запасовке стальной проволоки вокруг шкива, соединенного с осью и системой шестерен, которые приводят в действие стрелки, регистрирующие отсчет. Стальная проволока диаметром 0,4 мм закрепляется в той точке конструкции, где требуется измерить прогиб, или к неподвижному предмету (если прогибомер установлен на конструкции). При установке прогибомеров следует обращать внимание на то, чтобы показания приборов при перемещении гири вниз возрастали.

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°С), надежности крепления прогибомера и нити к конструкции.

Недостатки прогибомера ПМ-3: неудобная для отсчетов шкала, сравнительно невысокая точность и наличие «мертвого хода» при изменении направления вращения шестеренок. У прогибомера ПАО-6 эти недостатки отсутствуют. Общее достоинство прогибомеров – возможность измерения значительных перемещений.

**Клинометры.** Углы поворота элементов конструкций при испытаниях в пределах нормативных и расчетных нагрузок обычно невелики и измеряются клинометрами Стоппани, Аистова или рычажными. 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°. В стадии разрушения угловые перемещения резко возрастают, и для их определения применяют геодезические методы и инструменты.

На рисунке 15 приведено конструктивное решение клинометра Стоппани, прибора, применяемого при измерении углов наклона (поворота) конструкции.



а) кинематическая схема

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

Рисунок 15 – Клинометр Стоппани

Клинометр Стоппани имеет чувствительный уровень, соединенный с корпусом пластинчатой пружины. Прикрепив прибор к испытуемой конструкции струбиной, пузырек уровня выводят к средней риске микрометрическим винтом и по его лимбу записывают начальный отсчет  $c_1$ . После приложения нагрузки уровень вместе с расчетным сечением конструкции поворачивается на угол  $\alpha$ . Чтобы вернуть пузырек уровня в первоначальное положение, требуется переместить микрометрический винт на величину  $\delta$  и взять новый отсчет  $c_2$ :

$$\delta = \frac{s \cdot (c_2 - c_1) \cdot k}{n},$$

где  $s$  – шаг микрометрического винта, равный 1/3 мм;  $n$  – число делений лимба, равное 60.

Угол поворота

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\delta}{l},$$

где  $l$  – база прибора, равная 175 мм.

Цена деления шкалы лимба равна 6", предел измерений без перестановки прибора 6°. Прибор удобен и прост в работе. К его недостаткам можно отнести повышенную чувствительность к изменению температуры и наличие легко повреждаемого стеклянного уровня.

**Тензометры.** Наибольшее распространение в практике испытания строительных конструкций получили струнные, механические, электрические и тензорезисторные тензометры.

Среди механических наибольшее распространение получил рычажный тензометр системы Гугенбергера. В его кинематической схеме применена двойная рычажная система, образованная подвижным рычагом и стрелкой, соединенными поводком. На рисунке 16 и 17 дано конструктивное решение тензометров Гугенбергера и Аистова.

Разность отсчетов по шкале тензометра, имеющей 40-50 делений:

$$b = c_2 - c_1 = \frac{s}{r} \cdot \frac{n}{m} \Delta l,$$

Соотношение плеч рычагов ( $s, r, n, m$ ) подобрано так, что  $\frac{s}{r} \cdot \frac{n}{m} = 1000$ , а

цена деления шкалы равна 0,001 мм, следовательно

$$\Delta l = 0,001(c_2 - c_1) \cdot k,$$

где  $k$  – поправочный коэффициент.

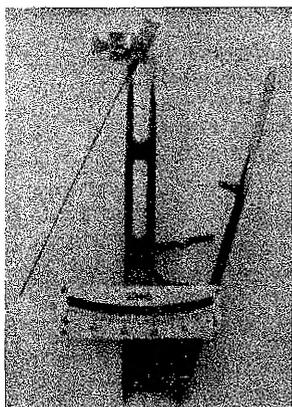
Если измеряемая деформация превышает 40 мкм, можно переставить стрелку прибора с помощью специального ползунка, что отмечается в журнале наблюдений. Для этого в числитель соответствующей графы журнала записывают отсчет, взятый до перестановки стрелки прибора, а в знаменатель – новый отсчет после перестановки стрелки к началу шкалы.

Относительная деформация определяется по формуле:

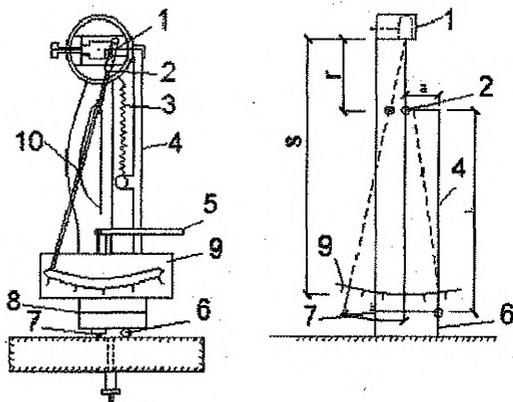
$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l} = \frac{0,001 \cdot (c_2 - c_1)}{l} \cdot k,$$

где  $l$  – база тензометра, равная 20мм; при необходимости применяют удлинитель базы до 100-250 мм.

Тензометры Гугенбергера и Аистова отличаются высокой точностью измерений, имеют простую конструкцию, малые габариты и массу. Их применяют в лабораторных исследованиях и при полевых испытаниях конструкций. Но в последнем случае следует учитывать и недостатки приборов: необходимость навыка установки, легкую повреждаемость, сравнительно малый диапазон измерений, невозможность использования в дождливую и ветреную погоду.



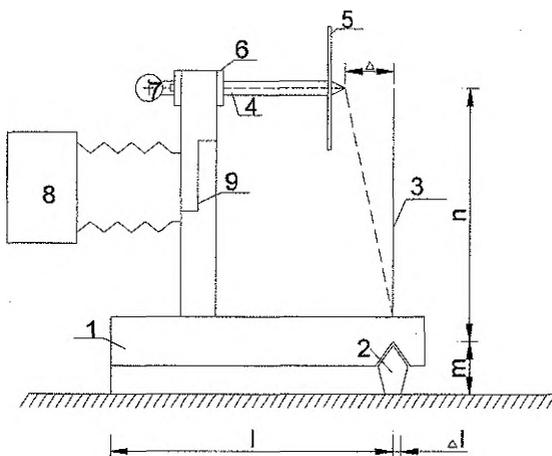
а) общий вид



б) кинематическая схема

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

Рисунок 16 – 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 17 – Тензометр Аустова

## 8. ПРИБОРЫ И УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ФИБРОВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ

**Тензорезисторы.** Для измерения фибровых деформаций используют тензорезисторы, принцип работы которых основан на изменении сопротивления проводника при его деформации. В этих приборах различают две основные части: первичный измерительный преобразователь – тензорезистор, воспринимающий деформации исследуемого элемента, и вторичный прибор – регистрирующее устройство, соединенное измерительным трактом с тензорезистором. Благодаря малым размерам, невысокой стоимости и возможности вести измерения дистанционно тензорезисторы получили широкое распространение в практике статических и динамических испытаний строительных конструкций. Для этой цели применяются проволочные, фольговые и полупроводниковые тензорезисторы. На рисунке 17 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.

В таблице 5 приведены характеристики тензорезисторов.

Таблица 5 – Характеристики тензорезисторов

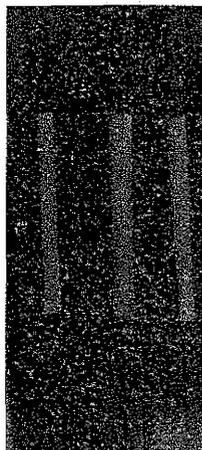
Характеристика	Тензорезисторы		
	проволочные		фольговые
	петлевые	беспетлевые	
1. Основа	бумажная	пленочная	комбинированная фольговая
2. База l, мм			
– допустимая	2...100	1...300	0,3...200
– рекомендуемая	5...50	3...300	3...30
3. Коэффициент			
– тензочувствительности, $K_p$	1,8...5,6	2,0...5,6	2,0...2,3
– относительной поперечной чувствительности, $K_T$	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

Проволочные тензорезисторы (петлевые и беспетлевые) (рисунок 18) выпускают базой 5... 100 мм с сопротивлением от 50 до 400 Ом. Проволочные петлевые тензорезисторы представляют собой зигзагообразную решетку, выполненную из тонкой проволоки диаметром 2-30 мкм, которая наклеивается на бумажную или пленочную основу. Материалом для проволоки служат сплавы с высокой температурной стабильностью и большим удельным электрическим сопротивлением (константан, эдванс, элинвар и др.).

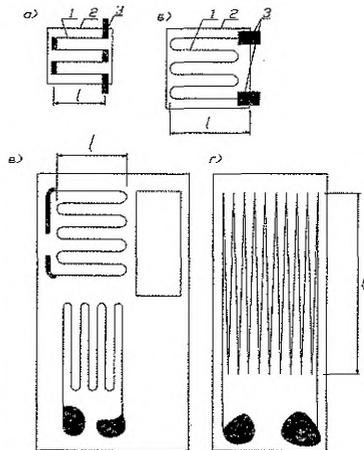
В основе работы тензорезисторов лежит тензометрический эффект – изменение электрического сопротивления проволоки  $R$  при деформации.

$$R = \rho l / F,$$

где  $\rho$  – удельное сопротивление,  $F$  – площадь поперечного сечения проволоки.



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 18 – Проводниковые тензорезисторы

Между относительной деформацией проволочной решетки  $\epsilon$  и относительным изменением сопротивления  $\Delta R/R$  в пределах упругих деформаций существует линейная зависимость:

$$\Delta R/R = \epsilon \eta,$$

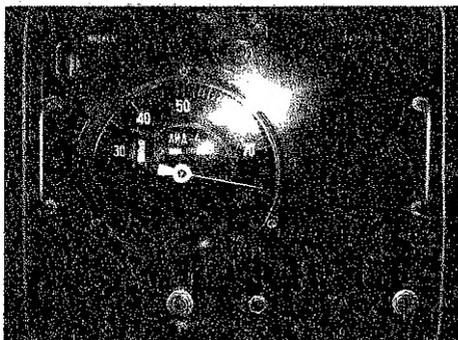
где  $\eta$  – коэффициент тензочувствительности, определяемый по формуле:

$$\eta = \frac{\Delta R / R}{\Delta l / l} = \frac{\Delta R E}{R \sigma} = 1 + 2\mu + \nu,$$

где  $\nu$  – коэффициент эластосопротивления.

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.

С помощью регистрирующего устройства (АИД-4, ТИССА-В-485/65) в процессе испытания определяют 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 19), а затем расчетом, используя закон Гука (в упругой стадии работы) или функциональную зависимость между приведенными напряжениями (в пластической стадии работы).

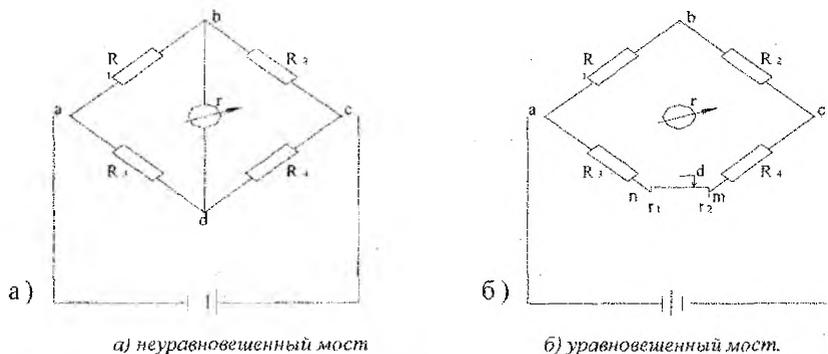


*Рисунок 19 – Автоматический измеритель деформаций АИД-4*

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  $c = 1 \cdot 10^{-5}$ .

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

Изменение сопротивления проволочного тензорезистора настолько мало, что его измерение возможно с помощью весьма чувствительной аппаратуры и электрических цепей мостового, потенциметрического или дифференциального типа. Принципиальное устройство регистрирующей аппаратуры при замере деформаций с помощью тензорезисторов представляет собой схему измерительного моста. На рисунке 20а показана схема неуравновешенного моста (моста Уитстона), а на рисунке 20б – схема уравновешенного моста.



$R_1$  – 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;  $G$  – гальванометр

**Рисунок 20 – Схемы измерительных мостов**

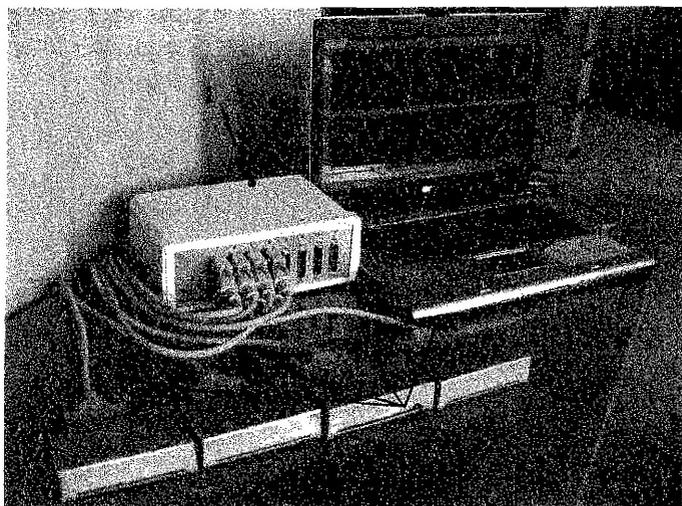
Мостовая схема (рисунок 20а) рассчитана на измерение приращений сопротивления тензорезистора. Изменяя сопротивления  $R_1$  и  $R_2$  в третьем и четвертом плечах моста, добиваются равенства  $R_2 R_3 = R_1 R_4$ , где  $R_1$  и  $R_2$  соответственно сопротивления активного и компенсационного резисторов. При выполнении этого условия разность потенциалов на вершине измерительной диагонали  $bd$  равна нулю. Деформация элемента конструкции и наклеенного активного (рабочего) тензорезистора приводит к изменению его сопротивления. Балансировка моста нарушается, и по измерительной диагонали идет ток, регистрируемый гальванометром. Изменение температуры приводит к одинаковому изменению сопротивления рабочего и компенсационного тензорезисторов и на показания прибора не влияет.

Более современный преобразователь показаний тензорезисторов компьютерный измерительный комплекс «ТИССА-В-485/65» (рисунок 21). 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 комплексе 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, описывающей 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.

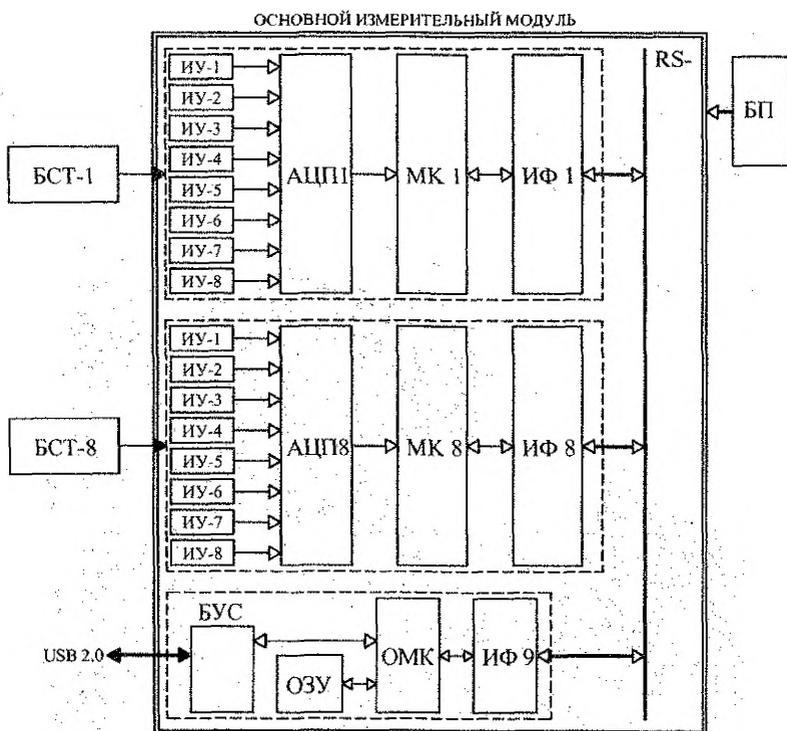


*1 – основной измерительный модуль; 2 – блок согласования тензорезисторов  
Рисунок 21 – Общий вид измерительного комплекса «ТИССА-В-485/64»*

Структурная схема компьютерного измерительного комплекса для регистрации деформаций «ТИССА-В-485/65» приведена на рисунке 22. 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 (рисунки 21, 22). Для защиты от случайных механических воздействий каждый из блоков помещен в защитный алюминиевый корпус.



**Рисунок 22 – Структурная схема  
измерительного компьютерного комплекса «ТИССА-В-485/65»**

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.

## **ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

1. Методические указания выдаются студентам за одну-две 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.

## **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Классификация испытаний.

2. Состав работ при подготовке и проведении испытаний.

3. Особенности разработки схем размещения приборов в зависимости от цели и задач.

4. Правила выбора типа измерительного прибора.

5. Метрологические характеристики средств измерения.

6. Конструктивное решение, принципы работы механизмов для создания нагрузки.

7. Конструктивное решение, принципы работы механизмов для измерения величины нагрузки.

8. Конструктивное решение и принцип работы прогибомеров.

9. Конструктивное решение и принцип работы индикаторов.

10. Конструктивное решение и принцип работы преобразователей перемещения.

11. Конструктивное решение и принцип работы тензометров.

12. Конструктивное решение и принцип работы тензорезисторов.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

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: ГОСТ 10529-86.
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. – 269 с.
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. Шамаков [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.
13. Землянский А.А. Обследование и испытание зданий и сооружений: Учебное пособие. – М.: Изд-во АСВ, 2004. – 240с.

Учебное издание

*Составители:*

*Шалобыта Николай Николаевич  
Бранцевич Владимир Петрович  
Ласкевич Ирина Геннадьевна*

# **ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ СТАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

**Методические указания  
к выполнению лабораторных работ  
по курсу «Метрология и контроль качества в строительстве»  
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 верстка: Соколюк А.П.  
Корректор: Никитчик Е.В.

---

Подписано к печати 02.12.2015 г. Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Гарнитура «Times New Roman».  
Бумага «Performer». Усл. п. л. 1,86. Уч. изд. 2,0. Заказ № 1220. Тираж 100 экз.  
Отпечатано на ризографе учреждения образования «Брестский государственный  
технический университет». 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.