

**СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ.  
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ  
ВИРТУАЛЬНЫХ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**



# СОДЕРЖАНИЕ

<b>Введение</b> .....	4
<b>Лабораторная работа №1 «Испытание материалов на растяжение»</b> .....	5
1. Теоретические положения.....	7
1.1 Показания прочности.....	8
1.1.1. Предел пропорциональности.....	9
1.1.2 Предел упругости.....	9
1.1.3. Предел текучести физический.....	9
1.1.4. Условный предел текучести.....	9
1.1.5. Сопротивление значительным пластическим деформациям.....	9
1.2. Показатели пластичности.....	9
1.2.1. Относительное удлинение после разрыва.....	9
1.2.2. Относительное сужение.....	10
1.3. Подготовка к испытанию.....	10
1.4. Диаграмма растяжения.....	11
2. Материалы и оборудование.....	13
2.1. Активные клавиши.....	13
2.2. Необходимые инструменты и материалы.....	13
3. Порядок выполнения работы.....	16
3.1. Проведение испытаний.....	16
4. Контрольные вопросы.....	19
5. Отчет по лабораторной работе.....	20
<b>Лабораторная работа №2 « Испытание материалов на сжатие»</b> .....	21
1. Теоретическое обоснование испытания материалов на сжатие.....	22
2. Оборудование.....	24
2.1. Активные клавиши.....	24
2.2. Оборудование.....	25
2.2.1. Пресс гидравлический (ПСУ-10).....	25
2.2.2. Техническая характеристика ПСУ-10.....	27
2.3. Комплект образцов.....	27
3. Порядок выполнения работы.....	29
4. Отчет.....	31
5. Контрольные вопросы.....	32
<b>Лабораторная работа №3 «Испытание образцов из различных материалов на кручение»</b> .....	33
1. Теория.....	33
2. Установка и оборудование.....	36
2.1. Активные клавиши.....	36
Оборудование.....	
2.2.1. Испытательная машина КМ-50-1.....	37
Образцы (сталь, чугун, дерево).....	41
3. Порядок выполнения работы.....	41
3.1. Последовательность действий.....	44
3.2.2. Вычисления.....	39
4. Контрольные вопросы.....	46
<b>Лабораторная работа №4 «Определение деформации балки при изгибе»</b> .....	47
1. Теория. Общий метод определения перемещений, пригодный для любой линейно-деформируемой системы.....	58
2. Оборудование.....	51
Активные клавиши.....	
3. Инструменты для испытаний.....	55
4. Порядок выполнения работы.....	57
5. Контрольные вопросы.....	58
2.2 Отчет.....	52



## **ВВЕДЕНИЕ**

В данных методических указаниях дано описание цикла лабораторных работ, в которых рассматриваются деформации стержня при растяжении-сжатии, изгибе и кручении.

Структура описания лабораторной работы определяет цель лабораторной работы, основные теоретические положения по данной теме, применяемое оборудование, последовательность проведения опытов, бланк отчета, перечень контрольных вопросов по теме.

В каждой лабораторной работе ставится задача продемонстрировать на основе опытов применимость расчетных формул сопротивления материалов в практических расчетах. Для этого проводится сравнение результатов опытных и теоретических значений тех или иных величин.

Отчет по лабораторной работе должен содержать цели и задачи работы, приборы, оборудование и обеспечение; индивидуальное задание на работу (напр. материал образца, его эскиз и размеры); графики усилий и напряжений; вычисления основных механических характеристик; выводы.

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1**  
**«ИСПЫТАНИЕ МАТЕРИАЛОВ НА РАСТЯЖЕНИЕ»**

**Цель работы** - изучение методики проведения испытаний на растяжение и определения механических свойств.

**Задачи** - провести испытания на растяжение различных материалов и определить показатели прочности и пластичности.

## 1. ТЕОРИЯ. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Механическими называют свойства, которые материал проявляет при действии на него внешних, механических сил со стороны других тел. Действие силы вызывает деформацию твердого тела, и в нем возникают напряжения. Напряжение является удельной величиной и определяется как отношение силы, действующей на тело, к площади его сечения:

$$\sigma = \frac{P}{F}, \quad (1.1)$$

где  $\sigma$  – напряжение;

$P$  – сила;

$F$  – площадь поперечного сечения (рис. 1.1).

Напряжение в системе СИ выражается в  $\text{Н/м}^2$  или  $\text{МН/м}^2$ , т.е. МПа. На практике может быть использована размерность  $\text{кгс/мм}^2$ , ( $1 \text{ кгс/мм}^2 \approx 9,81 \text{ МПа}$ ). В общем случае сила не перпендикулярна площадке, на которую она действует. Тогда ее, как и любой вектор, можно разложить на две составляющие: нормальную (перпендикулярную к площадке), создающую нормальное напряжение

$$\sigma = \frac{P}{F} \cos \alpha, \quad (1.2)$$

и касательную, действующую в плоскости площадки и вызывающую касательное напряжение

$$\tau = \frac{P}{F} \sin \alpha, \quad (1.3)$$

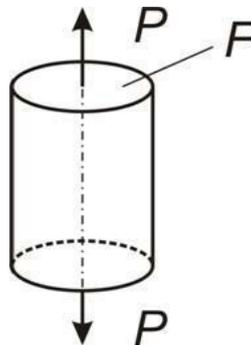


Рисунок 1.1. Схема нормальных сил

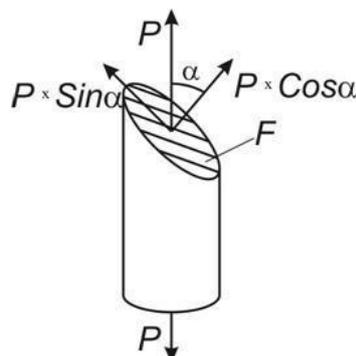


Рисунок 1.2. Схема составляющих сил

В механических испытаниях определяют именно эти напряжения. Их же используют при определении усилий, необходимых для обработки металлов давлением и при расчетах деталей на прочность. Это связано с тем, что одни процессы при деформировании и разрушении определяются касательными напряжениями (пластическая деформация, разрушение путем среза), а другие - нормальными (разрушение отрывом).

Нормальные напряжения делят на растягивающие и сжимающие. Под действием механических сил твердое тело деформируется. Деформацией в механике называется процесс изменения взаимного расположения каких-либо точек твердого тела. Деформация может быть обратимой (упругой), исчезающей после снятия нагрузки, и необратимой - остающейся после снятия деформирующего усилия. Необратимую деформацию называют пластической или остаточной. При определенных условиях нагружения деформация может закончиться разрушением.

Процесс деформации под действием постепенно возрастающей нагрузки складывается из трех последовательно накладывающихся одна на другую стадий.

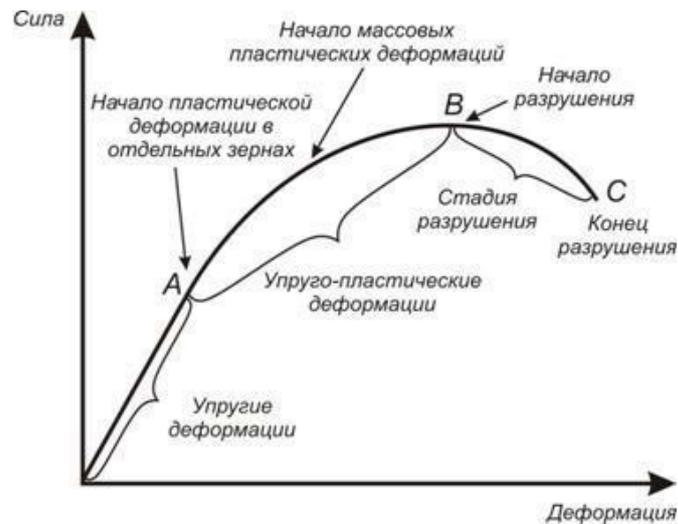


Рисунок 1.3.Схема процесса деформации

Даже незначительное усилие вызывает упругую деформацию, которая в чистом виде наблюдается только при нагрузках до точки А. Упругая деформация характеризуется прямо пропорциональной зависимостью от нагрузки и упругим изменением межатомных расстояний. При нагрузках выше точки А в отдельных зернах металла, ориентированных наиболее благоприятно относительно направления деформации, начинается пластическая деформация. Дальнейшее увеличение нагрузки вызывает и увеличение упругой, и пластической деформации (участок АВ). При нагрузках точки В возрастание упругой деформации прекращается. Начинается процесс разрушения, который завершается в точке С.

Механические свойства материалов: прочность, твердость, пластичность, вязкость, упругость определяются при различных условиях нагружения и разных схемах приложения усилий. Широко распространено испытание материалов на растяжение, по результатам которого можно определить в частности показатели прочности и пластичности материала.

Прочность - это способность материала сопротивляться пластической деформации под действием внешних нагрузок.

Пластичность - это способность материала проявлять, не разрушаясь, остаточную деформацию.

Условия приведения испытаний и порядок определения показателей механических свойств регламентированы стандартом ГОСТ 1497-84.

### 1.1. Показатели прочности

Сопротивление малым пластическим деформациям характеризуют предел пропорциональности, предел упругости и предел текучести.

### 1.1.1. Предел пропорциональности

Предел пропорциональности - это напряжение, ниже которого соблюдается прямая пропорциональная зависимость между напряжением и относительной деформацией:

$$\sigma_{\text{пц}} = \frac{P_{\text{пц}}}{F_0}, \quad (1.4)$$

где  $P_{\text{пц}}$  - нагрузка при пределе пропорциональности.

### 1.1.2. Предел упругости

Предел упругости  $\sigma_{0,05}$  - это условное напряжение, при котором остаточная деформация составляет 0,05% расчетной длины. Ввиду малости величины остаточной деформации на пределе упругости его иногда принимают равным пределу пропорциональности.

### 1.1.3. Предел текучести физический

Предел текучести физический - это наименьшее напряжение, при котором образец деформируется без увеличения растягивающей нагрузки:

$$\sigma_T = \frac{P_T}{F_0}, \quad (1.5)$$

Если на кривой деформации отсутствует четко выраженная площадка текучести (рис. 1.6, а), то определяют предел текучести условный.

### 1.1.4. Условный предел текучести

Условный предел текучести  $\sigma_{0,2}$  - это напряжение, при котором остаточное удлинение достигает 0,2% длины участка образца на его рабочей части, удлинение которого принимается в расчет при определении указанной характеристики:

$$\sigma_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{F_0}, \quad (1.6)$$

### 1.1.5. Сопротивление значительным пластическим деформациям

Сопротивление значительным пластическим деформациям (для пластичных материалов) характеризуется пределом прочности.

Предел прочности (временное сопротивление)  $\sigma_B$  - это условное напряжение, соответствующее наибольшей нагрузке  $P_{\text{МАХ}}$ , предшествовавшей разрыву образца:

$$\sigma_B = \frac{P_{\text{МАХ}}}{F_0}. \quad (1.7)$$

## 1.2. Показатели пластичности

### 1.2.1. Относительное удлинение после разрыва

Относительное удлинение после разрыва  $\delta$  - это отношение приращения

расчетной длины образца  $(l_k - l_0)$  после разрушения (рис. 1.4) к начальной расчетной длине  $l_0$ , выраженное в процентах:

$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} \cdot 100\% \quad (1.8)$$

Для определения длины расчетной части  $l_k$  после разрыва части образца плотно прикладывают друг к другу (рис. 1.4) и ограничивали начальную расчетную длину. Измеряют расстояние между метками, которые

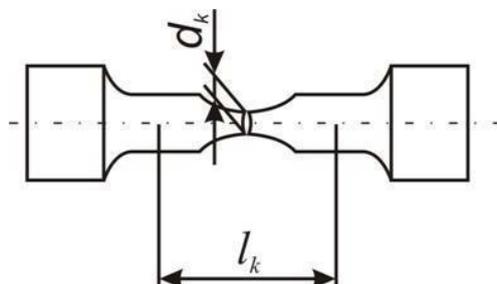


Рисунок 1.4. Круглый образец после испытания на растяжение

### 1.2.2. Относительное сужение

Относительное сужение  $\psi$  - это поперечного сечения в шейке образца ( $F_0 - F_k$ ) абсолютного площади сечения  $F_0$ , выраженное в процентах: отношение к начальной уменьшения площади

$$\psi = \frac{F_0 - F_k}{F_0} \cdot 100\%, \quad (1.9)$$

где  $F_0$  и  $F_k$  - площади поперечного сечения образца до и после испытания соответственно.

### 1.3. Подготовка к испытанию

Для проведения испытаний рекомендуется применять круглые или плоские пропорциональные образцы (предпочтительные соотношения  $l_0 = 5d_0$  для круглых и  $l_0 = 5,65\sqrt{F_0}$  для плоских образцов).

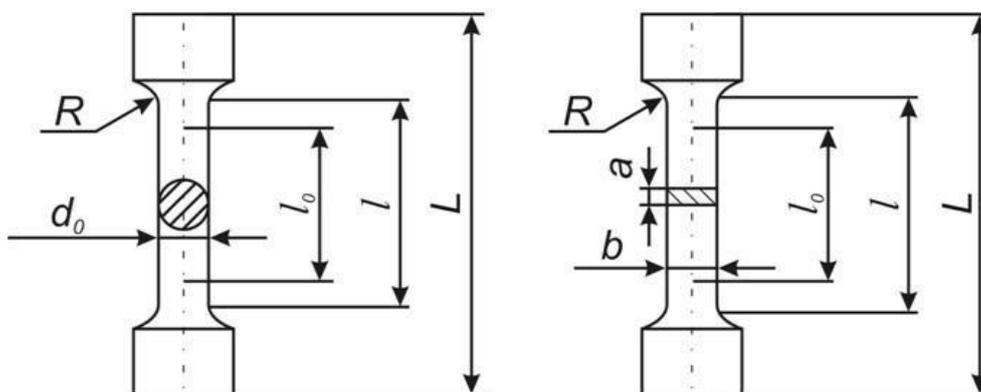


Рисунок 1.5. Образцы для испытаний: а - круглый образец, б - плоский образец.  $d_0$  - диаметр образца до испытания; а - толщина; б - ширина; R - радиус скругления. L - общая длина; l - рабочая длина;  $l_0$  - начальная расчетная длина;

Испытания на растяжение арматурных сталей имеют некоторые особенности. В железобетонных конструкциях сталь используется в состоянии поставки с сохранением поверхности. Механические свойства центральной части и поверхностных слоев могут заметно отличаться. Это отличие может быть вызвано ликвацией "С" и "Р", нагартовкой поверхности, различием структур из-за разных условий охлаждения после прокатки и т.п.

В стержнях периодического профиля напряжения, возникающие под нагрузкой, по длине распределяются тоже не равномерно, поэтому арматурную круглую и периодического профиля сталь диаметром от 3 до 80 мм по ГОСТ 12004-81 необходимо испытывать с необработанной поверхностью. В этом случае условия испытания наиболее полно соответствуют условиям работы арматурных стержней в железобетонной конструкции.

При испытании стержней периодического профиля используется понятие «номинальный диаметр». Номинальный диаметр  $d_n$  для стержневой арматуры равен номинальному диаметру равновеликих по площади поперечного сечения круглых стержней (рис. 1.6). Площадь сечения в этом случае вычисляется по формуле

$$F_0 = \frac{m}{\rho \cdot l}, \quad (1.10)$$

где  $m$  - масса стержня [кг];  $l$  - длина стержня [м];  $\rho$  - плотность [кг/м<sup>3</sup>] (для стали - 7850 кг/м<sup>3</sup>).

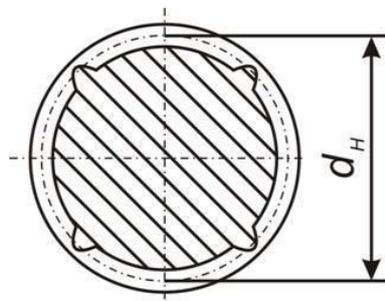


Рисунок 1.6. Сечение арматурного стержня периодического профиля

#### 1.4. Диаграмма растяжения

Вид диаграммы растяжения зависит от природы материала и от его структурного состояния.

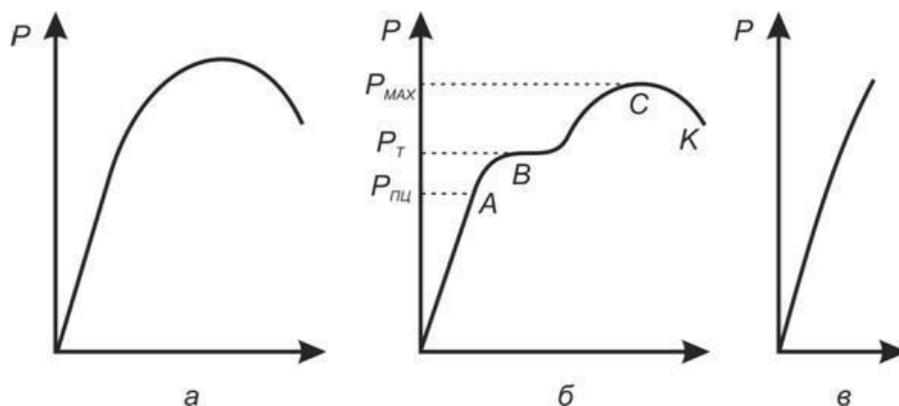


Рисунок 1.7. Виды диаграмм растяжения различных материалов

б - для некоторых металлов в пластичном состоянии со скачкообразным переходом в пластическую область (малоуглеродистая сталь, некоторые отожженные бронзы);

в - для хрупких материалов (чугун, стекло, закаленная и неотпущенная сталь, силумин).

Рассмотрим стадии растяжения на примере малоуглеродистой стали (рис. 1.7, б).

Вначале до точки А зависимость между нагрузкой и удлинением изображается прямой линией, т.е. наблюдается прямая пропорциональность между удлинением и нагрузкой. Интенсивность возрастания нагрузки с ростом удлинения характеризует жесткость материала.

Ордината точки А соответствует нагрузке при пределе пропорциональности  $R_{пц}$ . До предела пропорциональности в образце возникают только упругие деформации. При дальнейшем растяжении образца начинается заметное отклонение линии от первоначального направления, приводящее в случае малоуглеродистой стали к появлению на диаграмме горизонтального или почти горизонтального участка. Это означает, что образец удлиняется без заметного возрастания растягивающей нагрузки. Материал как бы течет, поэтому нагрузка  $R_T$ , соответствующая горизонтальному участку (точка В) называется нагрузкой при пределе текучести.

В период течения в образце происходит пластическая деформация, возрастает количество дислокации и других дефектов. В результате этого металл упрочняется. Поэтому при дальнейшем растяжении нагрузка вновь начинает увеличиваться и достигает значения  $R_{МАХ}$ , соответствующего ординате максимально удаленной точки С на кривой растяжения. При нагрузке  $R_{МАХ}$  деформация образца локализуется, начинает образовываться шейка - местное уменьшение сечения. Нагрузку  $R_{МАХ}$  называют нагрузкой на пределе прочности, или нагрузкой временного сопротивления. При нагрузке, соответствующей точке К, происходит разрыв образца.

Нагрузки  $R_{пц}$ ,  $R_T$ ,  $R_{МАХ}$  и т.п. являются характеристиками данного образца. Свойства же материала характеризуют другими показателями.

- для большинства металлов в пластичном состоянии с постепенным переходом  
а упругой области в пластическую (медь, бронза, легированные стали); из

## 2. МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

### 2.1. Активные клавиши

Для работы в этой лабораторной работе применяются следующие клавиши:

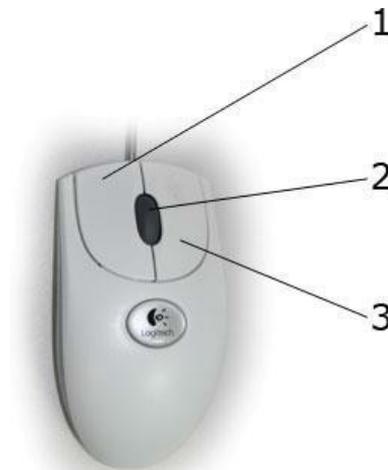
W, S, A, D – для перемещения в пространстве;

F2, E – аналоги средней клавиши манипулятора (при первом нажатии берется объект, при последующем – ставится);

F10 – выход из программы.



Рисунок 2.1. Активные клавиши клавиатуры



## Рисунок 2.2. Функции манипулятора

Левая клавиша мыши (1) - при нажатии и удерживании обрабатывается (поворачивается, переключается) тот или иной объект.

Средняя клавиша (2) - при первом нажатии (прокрутка не используется) берется объект, при последующем – ставится (прикрепляется).

Правая клавиша (3) - появляется курсор-указатель (при повторном - исчезает).

Примечание: При появившемся курсоре невозможно перевести взгляд вверх и стороны.

### **2.2. Необходимые инструменты и материалы**

Для проведения работы необходимы:

- испытательная машина,
- штангенциркуль,
- образцы различных металлических материалов.

Для проведения испытаний могут быть универсальные испытательные машины. Рассмотрим использованы специальные или на примере УММ-5 (Рис. 2.3, 2.4) устройство испытательной машины

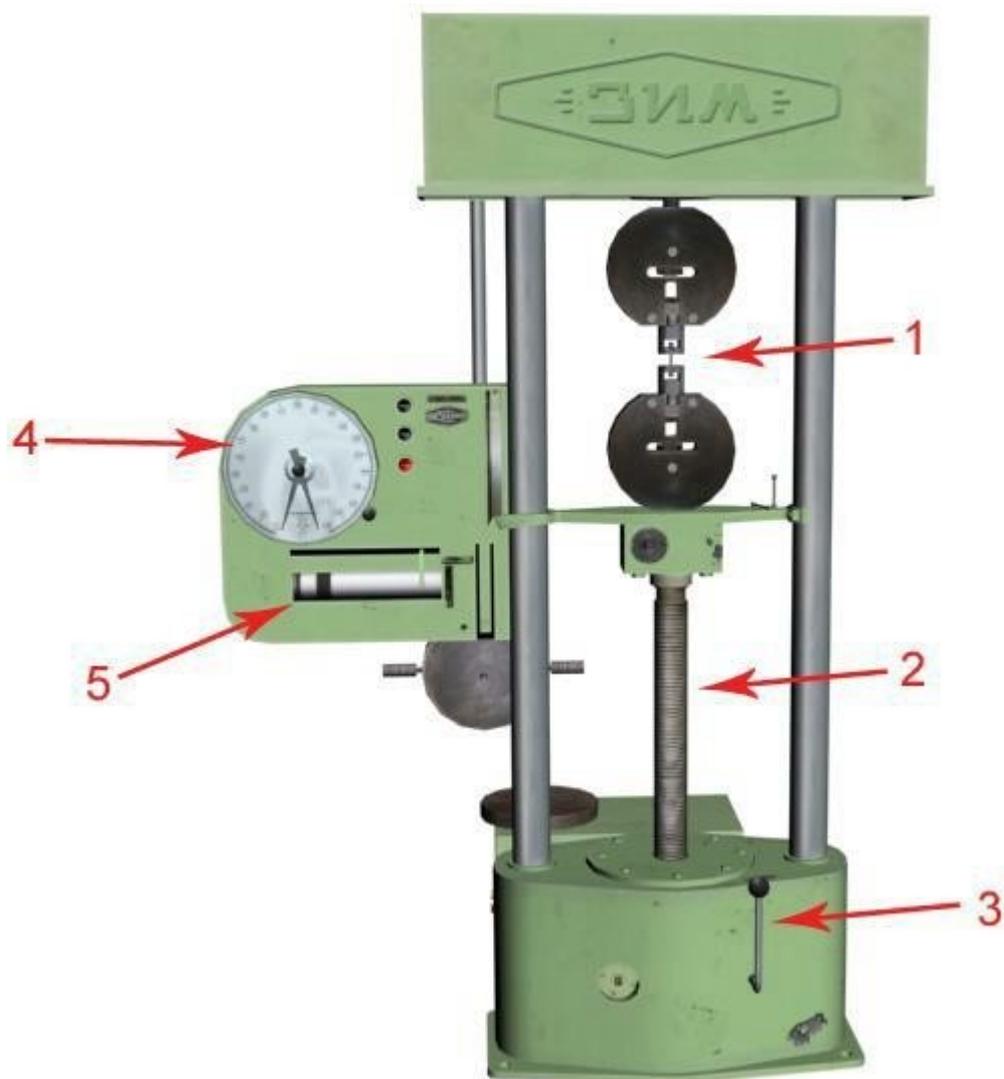


Рисунок 2.3. Испытательная машина УММ-5

1 – место установки образца (кулачки); 2 – вращающийся винт; 3 – рукоятка переключения передач (используется 3 передачи); 4 – шкала динамометра; 5 – место выхода динамограмм

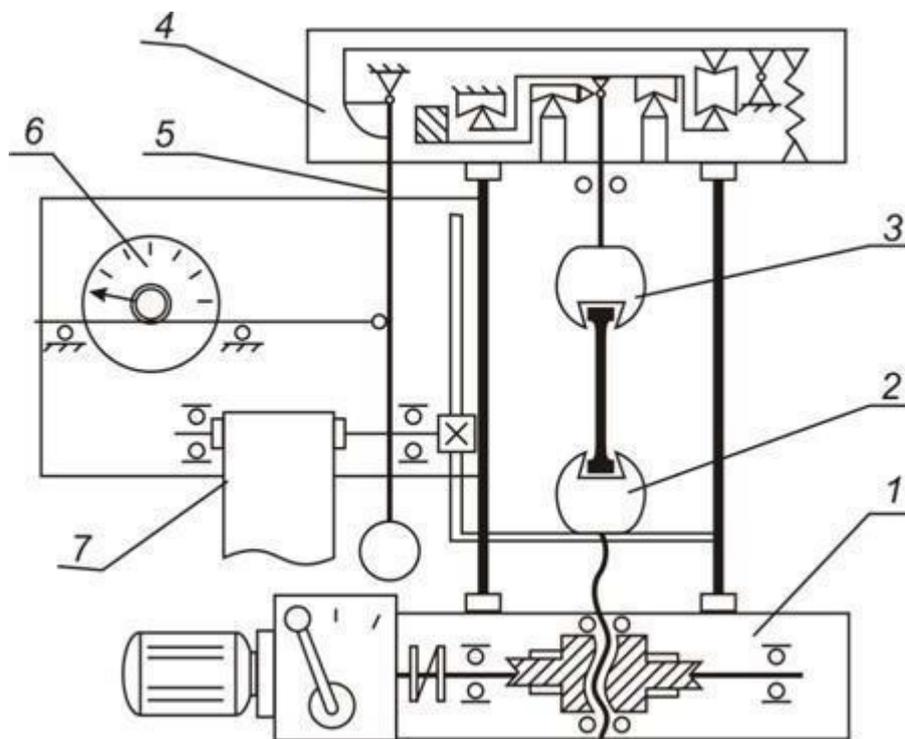


Рисунок 2.4. Схема испытательной машины УММ-5

Машина УММ-5 имеет электромеханический привод (1) подвижного захвата (2), скорость перемещения которого может быть установлена с помощью рычага коробки скоростей.

С неподвижным захватом (3) связан рычажно-маятниковый силоизмеритель (4).

Возрастание усилия в верхнем неподвижном захвате (3) вызывает соответствующее отклонение маятника (5), происходит уравнивание. Величина усилия показывается стрелкой на круговой шкале (6) (рис.2.5).



Рис.2.5. Круговая шкала и диаграммный аппарат

Машина имеет диаграммный аппарат (7), позволяющий записывать при испытании кривую деформации в координатах «сила – деформация».

### 3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

#### 3.1. Проведение испытаний

Порядок работы следующий:

1. Возьмите образец со стола.

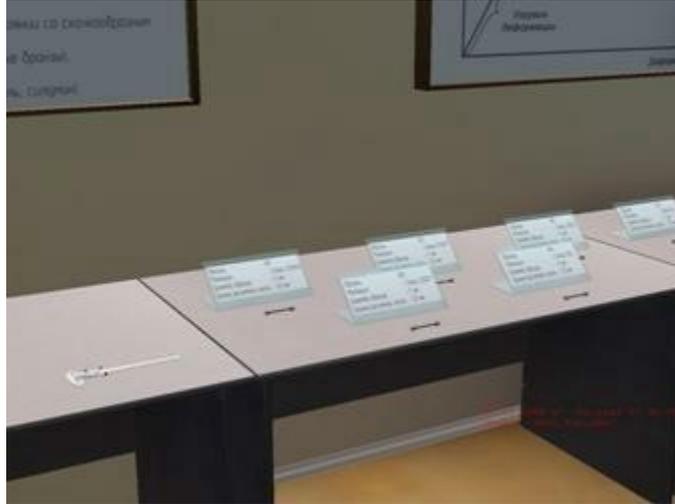


Рисунок 3.1. Стол с образцами

2. Установите образец между кулачками.



Рисунок 3.2. Зажатый между кулачками образец

3. Включите УММ-5 (кнопка внизу «красная» - включить, «белая» - выключить).

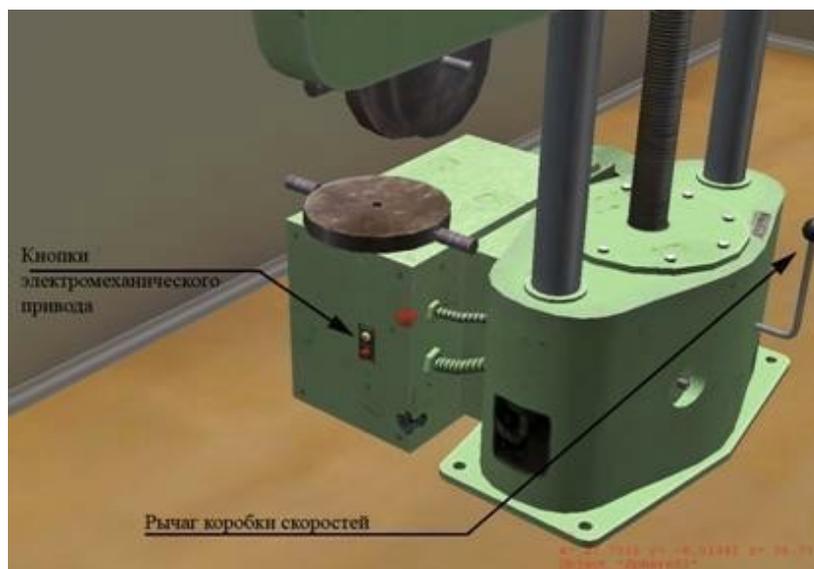


Рисунок 3.3. Кнопки электромеханического привода и рычаг коробки скоростей

4. Установите передачу.
5. Нажмите кнопку «ВНИЗ». Образец начнет растягиваться.

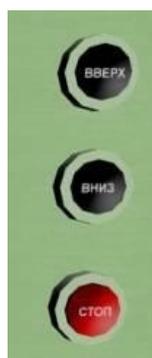


Рис. 3.4. Кнопки управления

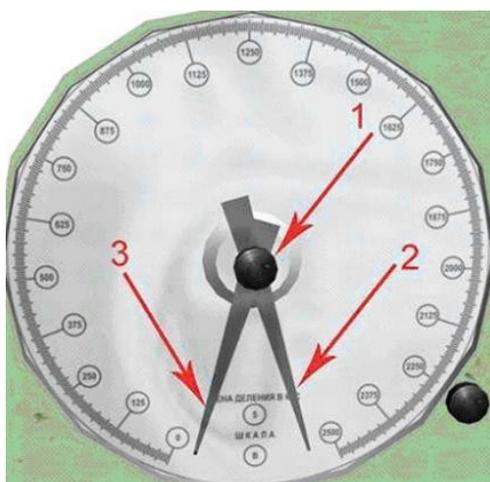


Рисунок 3.5. Шкала динамографа

- 1 – рукоятка управления пассивной стрелкой;
- 2 – активная стрелка (связана с замером);
- 3 – пассивная стрелка

При растягивании шкала показывает данные. Управление пассивной стрелкой происходит от рукоятки посередине шкалы (вращая рукоятку, можно вращать стрелку).

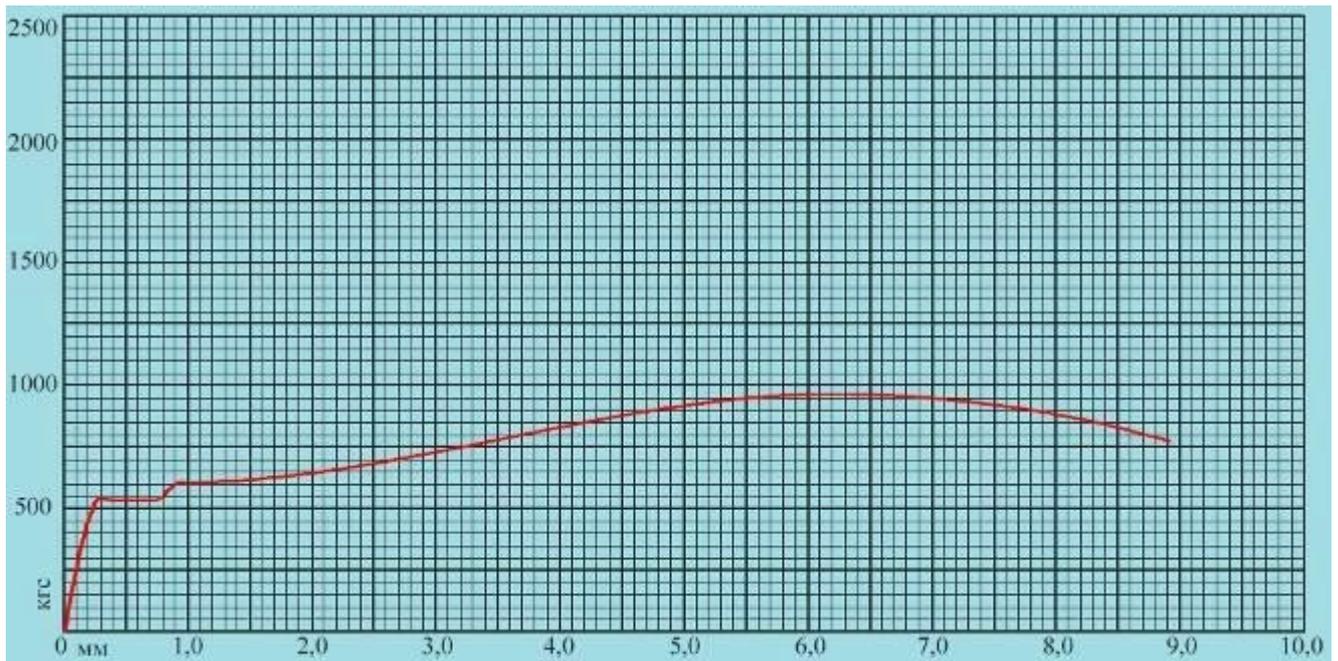


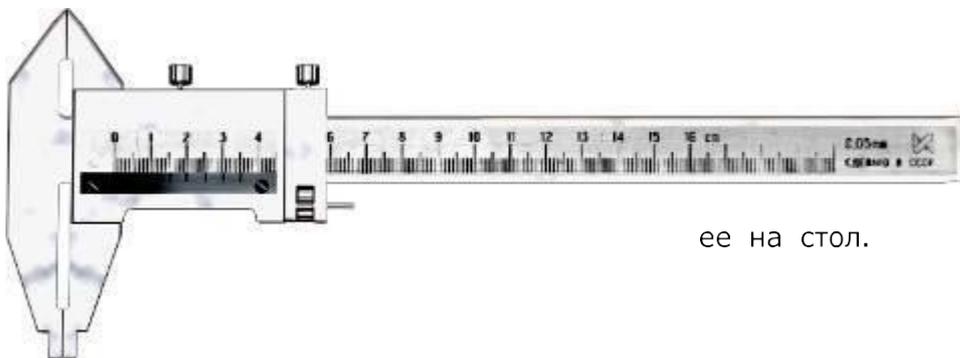
Рисунок 3.6. Диаграмма разрыва образца Ст3

6. Постепенно образец в середине становится тоньше и длиннее за счет растяжения. В конце испытания образец рвется.
7. Затем необходимо выключить УММ-5 (кнопка «СТОП»), либо машина

Во время работы из диаграммного аппарата «выезжает» лист с диаграммой.

выключится сама.

8. Вытащите образец и положите его на стол для замера (две половинки образца ложатся друг к другу, образуя «целый» образец). Замер будет производиться при помощи штангенциркуля.



ее на стол.

### Рис. 3.7. Штангенциркуль

9. Возьмите со стола штангенциркуль и укажите на образец. Одной губкой штангенциркуль встанет к месту замера на образце, а вторую можно двигать, тем самым производя замер в месте обрыва.
10. Снимите динамограмму с УММ-5 и положите ее на стол. После того, как динамограмма оказалась на столе, имеется возможность растянуть ее на весь экран (щелчок на динамограмму растягивает ее на весь экран, повторный щелчок убирает ее обратно на стол).
11. Сломанный образец нужно выкинуть в урну.
12. Далее нижний кулачок поднимите (кнопка «ВВЕРХ») до положения, чтобы поместить новый образец.
13. Пассивную стрелку (3) динамографа установите в нулевое положение.  
Можно проводить дальнейшие испытания.

#### 4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется пределом текучести и пределом прочности?
2. Какие механические свойства материала можно определить по диаграмме растяжения?
3. На какой испытательной машине выполняется работа?
4. Какой применяется образец?
5. Как проводится нулевая линия и оси координат на диаграмме растяжения?
6. Как определяют предел текучести, если на диаграмме растяжения имеется участок, параллельный оси удлинения?
7. По какой величине относительного остаточного удлинения определяют условный предел текучести?
8. Как определяют условный предел текучести по диаграмме растяжения?
9. На какую площадь сечения образца нужно делить максимальную нагрузку, которую выдержал образец до разрушения, при определении предела прочности?
10. Для какого участка диаграммы растяжения справедлив закон Гука?
11. Как изменяются свойства материала, если он подвергался предварительной вытяжке за предел текучести?

## 5. ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

1. Изучите основные теоретические положения и условия проведения испытаний на растяжение.

2. Испытайте на растяжение образцы различных материалов с записью диаграммы растяжения. Результаты занесите в протокол (таблица 5.1).

3. Обработайте результаты, определите механические свойства испытанных материалов и сравните их с табличными значениями.

Таблица 5.1

Протокол испытаний на растяжение

Показатели			образец		
			№1	№2	№3
Материал образца					
Диаметр образца	до испытания $d_0$	мм			
	после испытания $d_k$	мм			
Площадь поперечного сечения	до испытания $F_0$	мм			
	после испытания $F_k$	мм			
Длина расчетной части	до испытания $l_0$	мм			
	после испытания $l_k$	мм			
Нагрузки, соответствующие:	пределу текучести	Н			
	физическому $R_T$	Н			
	условному $R_{0,2}$	Н			
	пределу прочности $R_{MAX}$				
Предел текучести	физический $\sigma_T$	МПа			
	условный $\sigma_{0,2}$	МПа			
Предел прочности $\sigma_B$		МПа			
Относительное удлинение $\delta$		%			
Относительное сужение $\psi$		%			

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2**  
**«ИСПЫТАНИЕ МАТЕРИАЛОВ НА СЖАТИЕ»**

**Цель работы** - определение экспериментальным путем основных механических характеристик различных материалов.

**Задачи:**

- определить ударную вязкость материала при сжатии;
- определить предел прочности.

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ИСПЫТАНИЯ МАТЕРИАЛОВ НА СЖАТИЕ

При испытании на сжатие пластических материалов (мягкой стали, меди и др.) из-за сильной деформации (сплющивания) удастся определить лишь предел текучести; практически они не могут быть разрушены, поэтому для пластических материалов не существует предела прочности при сжатии. Хрупкие материалы (чугун, камень, бетон и др.) разрушаются при сжатии, выдерживая при этом значительно большее напряжение, чем при растяжении. Для этих материалов предел прочности при испытании на сжатие имеет большое практическое значение, т.к. обычно детали из хрупких материалов в реальных конструкциях работают на сжатие.

1.



Рисунок 1.1. Деформация стального образца при сжатии

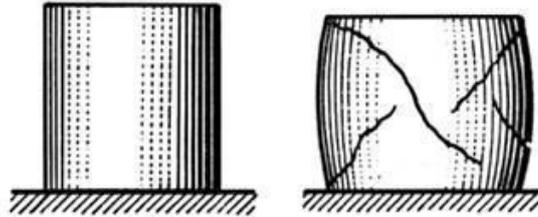


Рисунок 1.2. Деформация чугунного образца при сжатии

Испытание деревянных образцов представляют собой интерес вследствие того, что прочность этого материала, имеющего волокнистую структуру, неодинакова вдоль и поперек волокон (анизотропный материал).

Для испытаний применяют деревянные кубики. Прочность дерева на сжатие вдоль волокон обычно в 8-10 раз больше, чем поперек волокон.

Образцы до и после сжатия выглядят следующим образом.

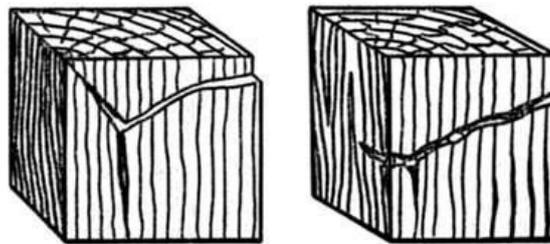


Рисунок 1.3. Деревянные образцы, разрушенные при сжатии волокон

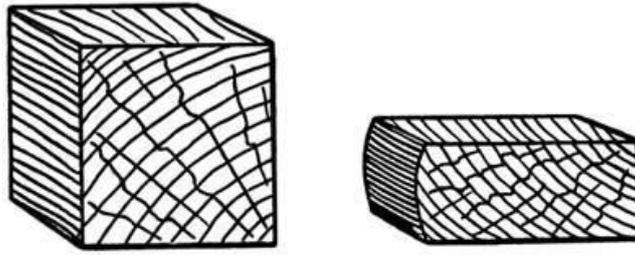


Рисунок 1.4. Деревянный образец до и после сжатия поперек волокон

## **2. ОБОРУДОВАНИЕ**

### **2.1. Активные клавиши**

Для работы в этой лабораторной работе применяются следующие клавиши:

- W, S, A, D – для перемещения в пространстве;
- F2, E – аналоги средней клавиши манипулятора (при первом нажатии берется объект, при последующем – ставится);
- F10 – выход из программы.



Рисунок 2.1. Активные клавиши клавиатуры

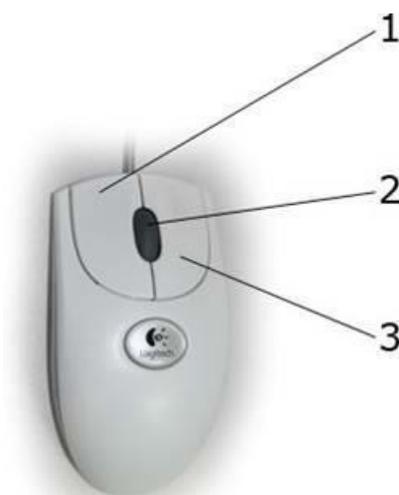


Рисунок 2.2. Функции манипулятора

Левая клавиша мыши (1) - при нажатии и удерживании обрабатывается (поворачивается, переключается) тот или иной объект.

Средняя клавиша (2) - при первом нажатии (прокрутка не используется) берется объект, при последующем – ставится (прикрепляется).

Правая клавиша (3) - появляется курсор-указатель (при повторном - исчезает).

Примечание: При появившемся курсоре невозможно перевести взгляд вверх и стороны.

## **2.2. Оборудование**

### **2.2.1. Пресс гидравлический (ПСУ-10)**

Гидравлический пресс ПСУ-10 предназначен для испытания стандартных образцов

строительных материалов на сжатие, а также поперечного изгиба кирпича согласно ГОСТ 530-54 на ПСУ-10.

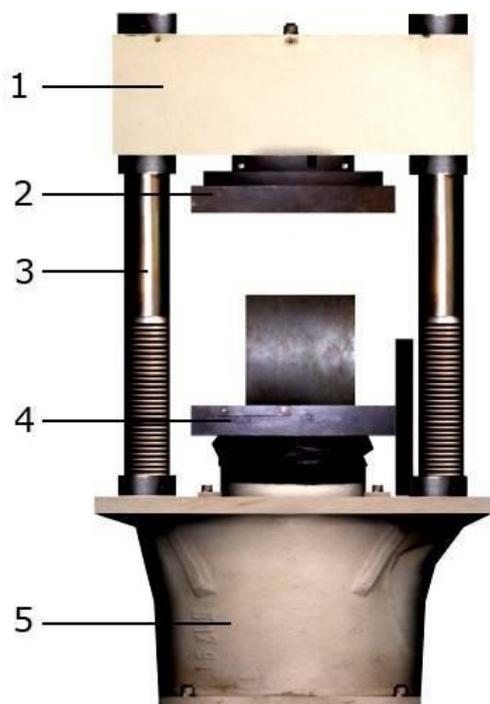


Рисунок 2.3. Общий вид гидравлического пресса ПСУ-10

По конструкции силовозбуждающего устройства пресс относится к типу гидравлических и включает в себя три отдельных агрегата: собственно пресс (рис. 2.3), пульт управления (рис. 2.4), силоизмеритель СИ-2 (рис. 2.5).

Собственно пресс представляет собой неподвижную раму, состоящую из станины (5) и поперечины (1), соединенных между собой двумя колоннами (3). В центральном гнезде поперечины смонтирована винтовая пара, на которую закреплена плита опорная верхняя (2).

В центральной части станины расположен рабочий цилиндр пресса, в котором помещается плунжер. К плунжеру прикреплена плита нижняя (4). Под действием давления масла в цилиндре плунжер перемещается вверх. Максимальное передвижение его вверх должно быть в пределах 50 мм. Подвижные части машины опускаются вниз под действием собственного веса.

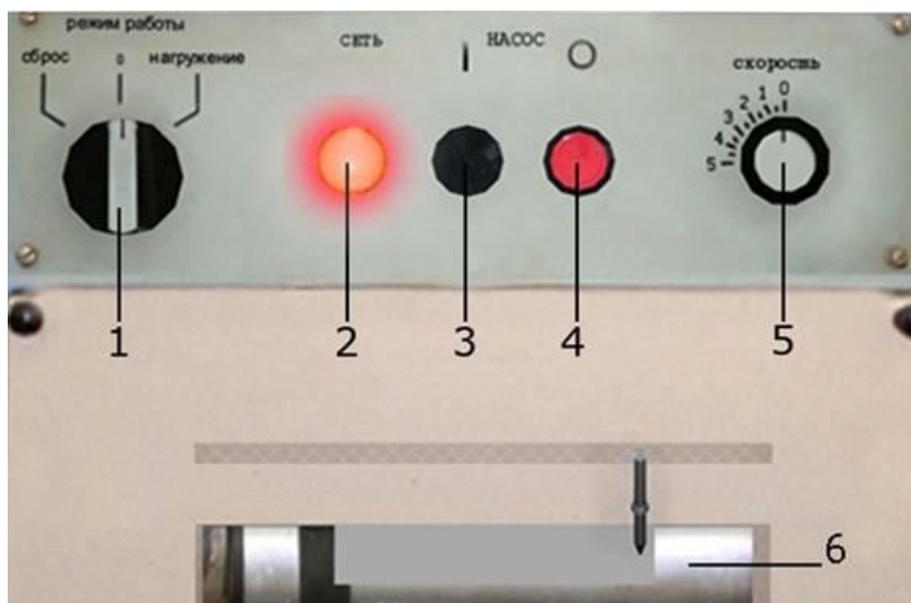


Рисунок 2.4. Панель управления прессом

На пульте управления прессом расположены следующие элементы:

(1) - переключатель режимов работы пресса, где «0» - нерабочее состояние, «СБРОС» - состояние сброса нагрузки пресса и возврата нижней плиты в нижнее положение, «НАГРУЖЕНИЕ» - состояние нагрузки пресса (нижняя плита перемещается вверх).

(2) - лампочка индикации сети.

(3) - кнопка включения насоса, подающего жидкость в гидроцилиндр пресса.

(4) - кнопка выключения насоса.

(5) - переключатель скорости нагружения пресса.

(6) - динамограф.

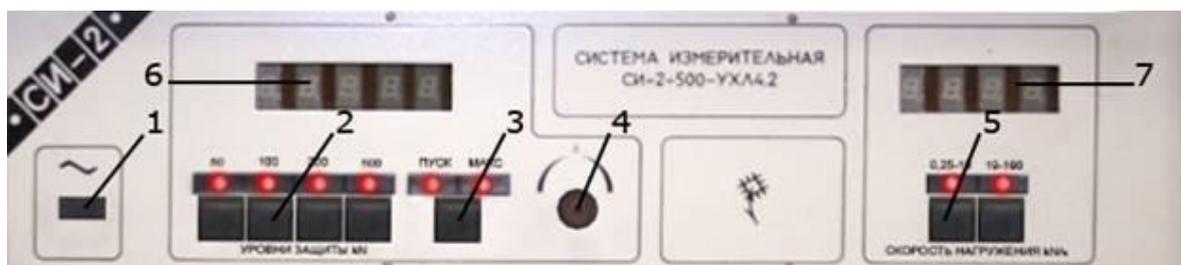


Рисунок 2.5. Панель силоизмерителя СИ-2

Силоизмеритель предназначен для отображения нагрузки и скорости нагружения пресса. На пульте силоизмерителя СИ-2 расположены следующие элементы:

(1) – кнопка включения прибора (вкл/выкл).

(2) – кнопки включения уровня защиты напряжения. Включение уровня защиты напряжения обеспечивает автоматическое выключение пресса, при достижении напряжения выше указанного.

(3) – кнопка режимов отображения напряжения. При включении режима I загорится индикатор «ПУСК» и числовое табло (6) будет отображать напряжение пресса

в реальном времени. При включении режима II загорится индикатор «МАКС» и числовое табло (6) будет отображать последнее максимальное напряжение пресса.

(4) – ручка ручной настройки СИ-2.

(5) – кнопки включения уровней защиты скорости нагружения. Включение уровня защиты скорости нагружения обеспечивает автоматическое выключение пресса, при скорости нагружения выше указанной.

### 2.2.2. Техническая характеристика ПСУ-10

Пресс гидравлический предназначен для статических испытаний образцов строительных материалов на сжатие.

Таблица 2.1

Техническая характеристика ПСУ-10

Параметры	Показатели
Точность измерения, %	±2
Предельная нагрузка, тонны	10
Скорость цилиндра, мм/мин движения поршня рабочего	20
Наибольший допустимый подъем поршня, мм	50
Мощность электродвигателя, кВт	1
Габаритные размеры, мм	362x200x970
Масса, кг	342

### 2.3. Комплект образцов

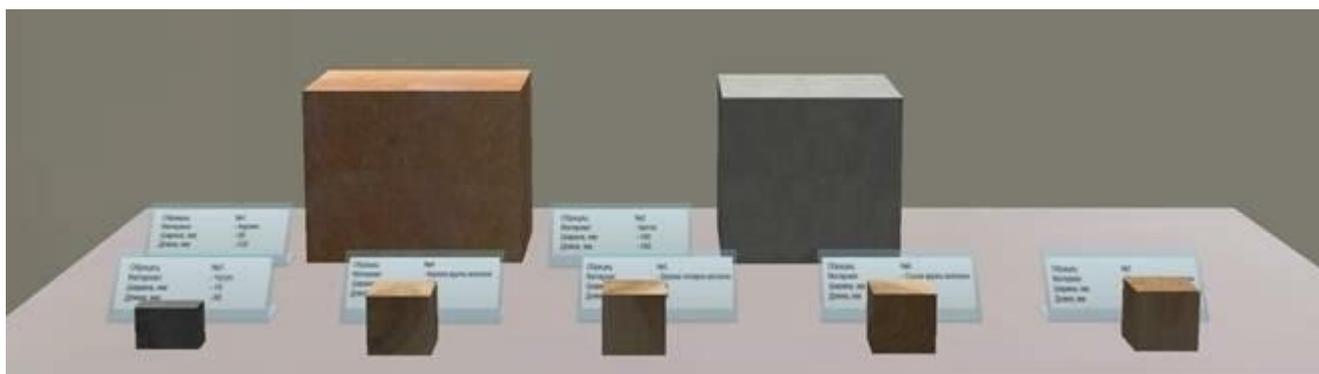


Рисунок 2.6. Стол с образцами

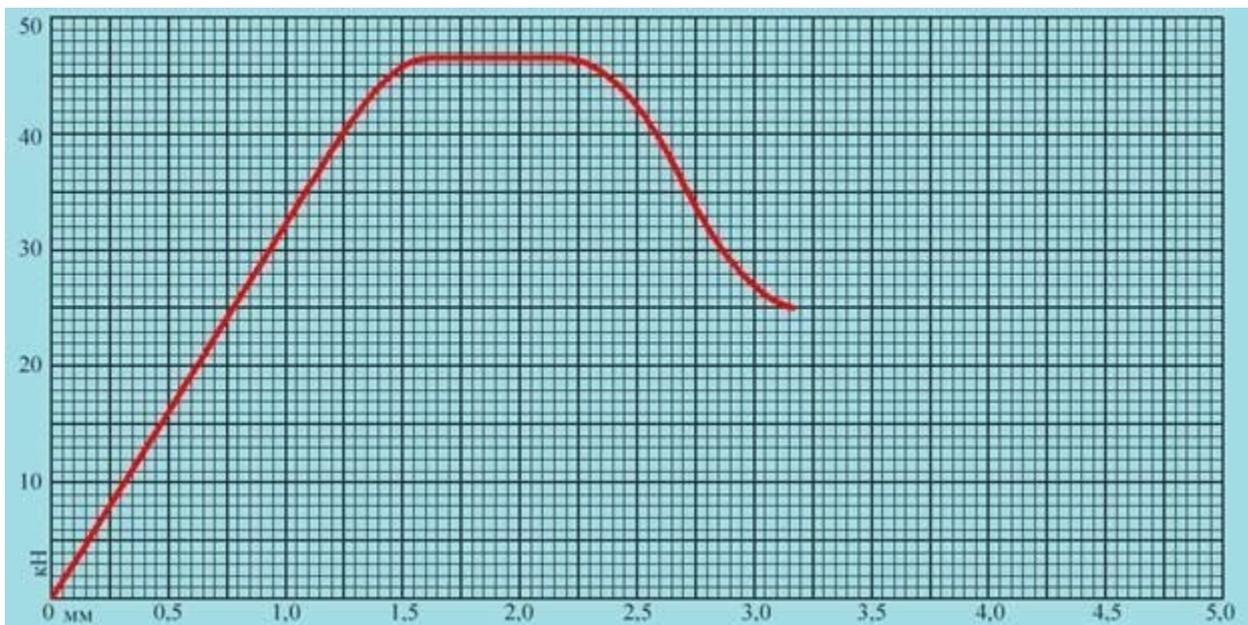
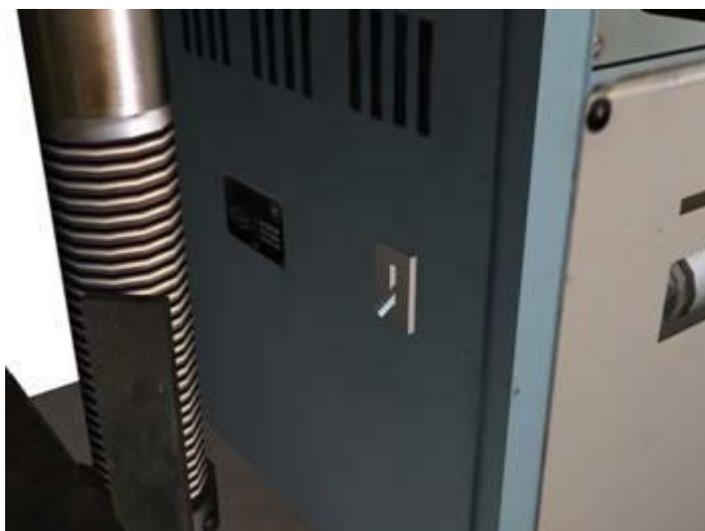


Рисунок 2.7. Пример диаграммы

### 3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Последовательность действий следующая:

1. Возьмем образец со стола.
2. Установим образец между плитами.
3. При помощи тумблера сети (рис.3.1) включим пресс в сеть. Загорится лампочка «СЕТЬ» на пульте управления прессом.



### Рисунок 3.1. Тумблер включения сети

4. Установим режим работы на пульте управления «НАГРУЖЕНИЕ», что будет соответствовать ходу пресса вверх. Режим «0» - работа вхолостую и передвижения пресса не будет. Режим «СБРОС» используется при разгрузке образца (обратный ход плиты пресса).

5. Включим прибор СИ-2 (рис. 2.5, кнопка 1).

6. На СИ-2 с помощью кнопок выставим уровень защиты (рис. 2.5, кнопка 2). Уровень защиты выставляется в кН. Если уровень защиты ниже усилия пресса, то пресс автоматически выключается. Если такое произошло, то для включения пресса нажать на кнопку «НАСОС».

7. На СИ-2 выставим скорость нагружения – разница между нагрузкой в данный момент и предыдущей. Если скорость нагружения больше установленной, то пресс автоматически выключается.

8. При включении СИ-2 горит лампочка «ПУСК», что соответствует отображению данных в реальном времени. При нажатии на кнопку 3 (рис.2.5) произойдет переключение режимов отображения – загорится лампочка «МАКС» и на панели (6) будет отображаться последнее максимальное значение напряжения. При повторном нажатии на кнопку 3 (рис 2.5) режим вернется в «ПУСК» (режим реального времени).

9. Установим скорость нагружения прессом (от 0 до 5 передач). Нажмем кнопку «НАСОС». Нижняя плита пресса начнет подниматься. Доведем образец до верхней плиты,

пресс начнет раздавливать образец. Из отверстия динамографа начнет выходить динамограмма и на шкалах СИ-2 появляются данные испытания.

10. По завершению опыта пресс автоматически выключится, СИ-2 продолжает работать.

11. Установим режим работы на «СБРОС». Дождемся, пока нижняя плита придет в исходное положение, - образец можно извлекать. Положим на стол.

12. Снимем диаграмму и положим ее на стол. После того как динамограмма оказалась на столе, имеется возможность посмотреть ее (щелчок на диаграмму поднимает ее перпендикулярно перед пользователем, повторный щелчок убирает ее обратно на стол).

13. Возьмем новый образец и проводим испытания дальше.

14. Вычислить предел прочности дерева вдоль волокон по формуле:

$$\sigma_{BC} = \frac{F_k}{A_0}, \quad (3.1)$$

где  $F_{BC}$  - наибольшая нагрузка, предшествующая разрушению образца;

$A_0$  - площадь поперечного сечения образца до начала испытания.

#### **4. ОТЧЕТ**

Отчет по выполненной работе должен содержать:

1. Цель и задачи работы.
2. Приборы, оборудование и обеспечение.
3. Индивидуальное задание на работу (материал образца, его эскиз и размеры).
4. Значения максимальных напряжений.
5. Графики: усилий и напряжений.
6. Вычисление основных механических характеристик.
7. Выводы (составляются соответственно цели).

## 5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие механические характеристики можно определить при испытании пластичных материалов на сжатие?
2. Какие механические характеристики можно определить при испытании хрупких материалов на сжатие?
3. Для каких материалов испытание на сжатие имеет большое практическое значение?
4. Чем объясняется разрушение чугуновых образцов по плоскости, проходящей под углом  $45^\circ$  к оси образца?
5. В каком направлении дерево прочнее при сжатии?
6. Можно ли довести до разрушения деревянный образец нагрузкой, направленной поперек волокон?

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3**  
**«ИСПЫТАНИЕ ОБРАЗЦОВ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА**  
**КРУЧЕНИЕ»**

**Цель работы** - определение предела прочности при кручении и исследовании характера разрушения образца.

**Задачи:**

1. вычислить условный предел прочности при кручении;
2. построить диаграммы кручения образцов;
3. по характеру поломки образца определить причину разрушения (имел ли место при разрушении сдвиг или отрыв материала) т.е. выявить, какие напряжения для данного материала опасны.

## 1. ТЕОРИЯ

При кручении бруса круглого поперечного сечения в плоскостях, перпендикулярных к его продольной оси, и в плоскостях совпадающей с этой осью, возникают только касательные напряжения, в плоскостях, расположенных под углом  $45^\circ$  к оси бруса - только нормальные напряжения (главные). Напряженное состояние во всех точках - чистый сдвиг. Нормальные и касательные напряжения по величине равны между собой, поэтому разрушение образца при кручении может произойти от сдвига или отрыва. Так как сопротивление сдвигу или отрыву у различных материалов неодинаково, разрушение образцов при испытании на кручение будет происходить различно.

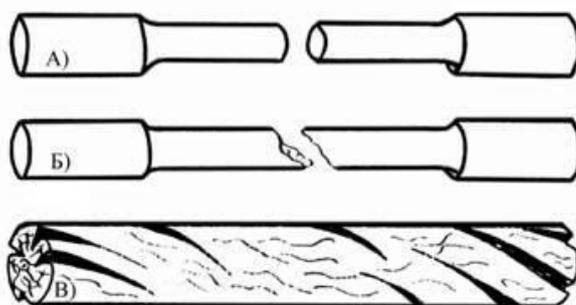


Рисунок 1.1. Характер разрушения образцов при кручении

- а - разрушение стального образца, вызванное сдвигом по поперечному сечению образца;  
б - разрушение чугунного образца от отрыва по винтовой поверхности с углом наклона  $45^\circ$  к оси образца; в - разрушение деревянного образца, вызванное сдвигом в продольном осевом сечении

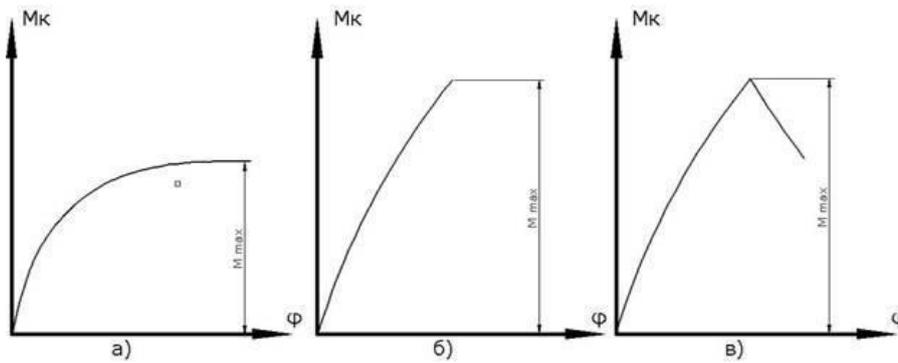


Рисунок 1.2. Диаграмма кручения образцов:  
а - стального; б - чугунного; в - деревянного

Диаграмма зависимости угла закручивания  $\phi$  от крутящего момента  $M_k$  наглядно отражает процесс деформации образца при кручении. Сначала деформация (угол закручивания) увеличивается пропорционально нагрузке (крутящему моменту) и на диаграмме – прямая (закон Гука) (рис.1.2 а); затем деформация растет значительно быстрее нагрузки, и на диаграмме появляется криволинейный участок. Диаграмма

обрывается при наибольшем значении крутящего момента, соответствующего разрушению образца.

Разрушение чугунного образца происходит внезапно по наклонному сечению. Зернистый характер излома является средством разрушения от отрыва. На диаграмме кручения чугунного образца (рис.1.2 б) видно, что чугун не совсем строго подчиняется закону Гука (кривая имеет несколько выпуклый характер) и не получает при разрушении от кручения значительных остаточных деформаций.

На диаграмме кручения деревянного образца (рис.1.2 в) вначале момент возрастает пропорционально углу закручивания, затем после достижения максимальной величины начинает заметно уменьшаться вследствие образования в образце продольной трещины.

## 2. УСТАНОВКА И ОБОРУДОВАНИЕ

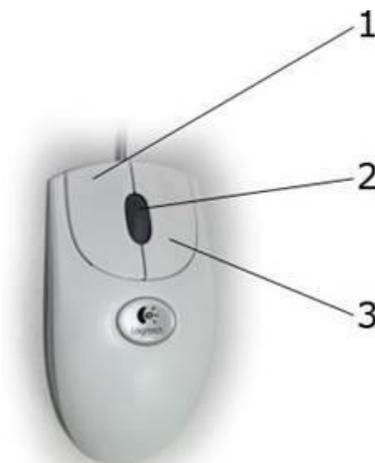
### 2.1. Активные клавиши

В этой лабораторной работе применяются следующие клавиши:

- W, S, A, D – для перемещения в пространстве;
- F2, E – аналоги средней клавиши манипулятора, при первом нажатии берется объект, при последующем – ставится;
- F10 – выход из программы.



Рисунок 2.1. Активные клавиши



## Рисунок 2.2. Функции манипулятора

- Левая клавиша мыши (1) - при нажатии и удерживании обрабатывается (поворачивается, переключается) тот или иной объект.
- Средняя клавиша (2) - при первом нажатии (прокрутка не используется) берется объект, при последующем – ставится.
- Правая клавиша (3) - появляется курсор-указатель (при повторном исчезает).

Примечание: При появившемся курсоре невозможно перевести взгляд вверх и стороны.

## **2.2. Оборудование**

### **2.2.1. Испытательная машина КМ-50-1.**

Испытание на кручение проводят на специальной машине КМ-50-1.

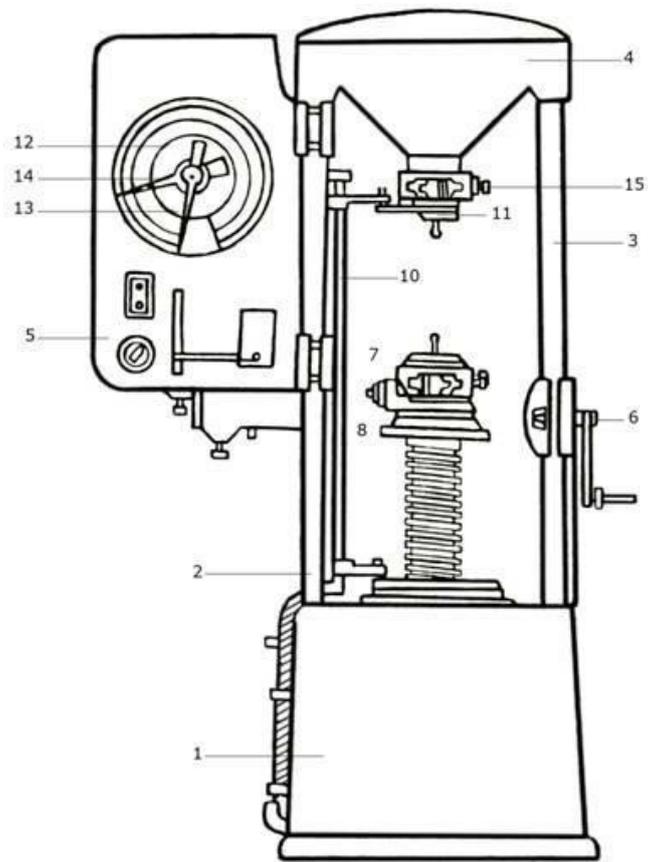
Испытательная машина КМ-50-1 предназначена для испытания образцов из металлов на кручение с наибольшим крутящим моментом 50 кгс·м в соответствии с методами указанными в ГОСТ 3565-58.

Разрешается также проводить также на машине испытания образцов из других материалов. На рис.2.3 представлен общий вид машины.



Рисунок 2.3. Общий вид машины КМ-50-1

Машина состоит из следующих частей (рис.2.4): остова, привода, механизма нагружения, моментоизмерителя, устройства записи, ручного привода, захватов и электроаппаратуры.



#### Рисунок 2.4. Испытательная машина КМ-50-1

Остов представляет собой замкнутую раму, основание которой - чугунный корпус привода (1), боковые стороны - две стальные цилиндрические колонны (2) и (3), нижние концы их закреплены в корпусе привода, а верхние закреплены чугунным корпусом механизма нагружения (4). На левой колонне укреплен корпус моментоизмерителя (5). На остова размещаются все узлы и детали машин.

При работе электродвигателя в зависимости от установки переключателей скоростей активный захват совершает 1 или 0,3 оборота в минуту. При работе ручным приводом (6) переключатель скоростей должен быть установлен в нейтральное положение, чтобы зубчатые передачи не работали, т.е. против отметки "0".

Для закрепления образцов различной длины нижний активный захват может устанавливаться на различной высоте маховиком (8). Нижний захват расположен в ходовом винте на направляющих, выполненных внутри шариковых обойм, которые обеспечивают осевое давление захвата во время испытания образцов.

Угол образования описывается по шкале (9), установленной на ходовом винте. В шкале 360 делений, цена каждого из них соответствует углу закручивания в 1°. Целые обороты ходового вала фиксирует специальный счетчик с пределом измерения в 10 оборотов.

Показания по шкале углов закручивания соответствуют относительному повороту захвата машины, т.к. поправка на поворот верхнего захвата вносится автоматически корректирующим приспособлением (10). Верхнюю направляющую корректирующего

устройства перед испытанием образца необходимо подводить рукои до соприкосновения

с верхним захватом (11).

Необходимо иметь в виду, что из-за инерционного пробега вала нижнего захвата после выключения механического привода в момент разрушения образца углы закручивания следует отсчитывать по шкале, если они не менее  $200^\circ$ , точно отсчитывать каждые углы можно лишь при нагружении образца ручным приводом.

Для создания уравнивающего момента привода служит механизм нагружения, в нижней части которого установлен верхний захват (11). Уравнивающий момент создается с помощью сектора, связанного гибкой связью с маятником, который имеет съемные грузы, которые устанавливаются в зависимости от применяемой при испытании шкалы моментоизмерителя.

Моментоизмеритель предназначен для отсчета по шкале моментов (12) при помощи рабочей (13) и контрольной (14) стрелок момента, приложенного к образцу. Конструкция моментоизмерителя рассчитана так, что величина момента, приложенного к образцу, прямо-пропорциональна углу отклонения рабочей стрелки по круговой шкале. Стрелка по круговой шкале показывает непосредственно действующий на образец момент.

Для закрепления образцов, испытываемых на кручение, машина имеет клиновые захваты. Верхний захват (11) установлен в шпинделе головки нагружения, нижний захват (7) - в ходовом винте. Клиновые захваты снабжены постоянными вкладышами, которые перемещаются пружиной, поджимаемой рукояткой. Вкладыши захватом снабжены комплектом сменных, термически обработанных губок, рассчитанных на закрепление образцов различной толщины и диаметра. Для удобства заправки и снятия образцов в захватах сделаны прорезы. Верхний захват имеет фиксатор (15), удерживающий губки раскрытыми.

### 2.2.2. Образцы (сталь, чугун, дерево)

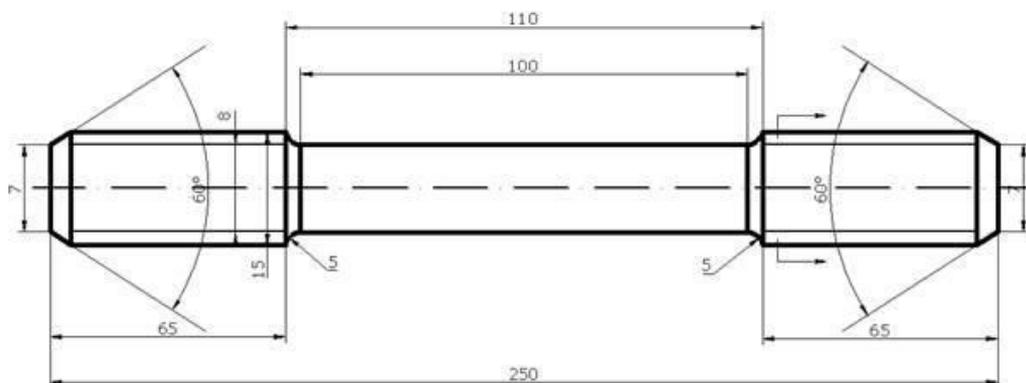


Рисунок 2.5. Эскиз образца круглого сечения



Рисунок 2.6. Столы с образцами

### **3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

#### **3.1. Последовательность действий:**

1. Возьмите образец со стола.

2. Установите образец в испытательную машину. Возьмите образец в руки, примените его к любому кулачку КМ-50-1, образец должен исчезнуть. Далее (рис. 4.1) нужно ручку захвата (1) поверните по часовой стрелке на  $30^\circ$ , при этом вращении плашка (2) будет совершать движение от вас, а плашка (3) движение к вам. В результате этого движения расстояние между плашками (2) и (3) несколько увеличится. В таком положении захватов между кулачками появляется образец, и ручка (1) совершает движение против часовой стрелки. Плашки сходятся и образец зажимается.

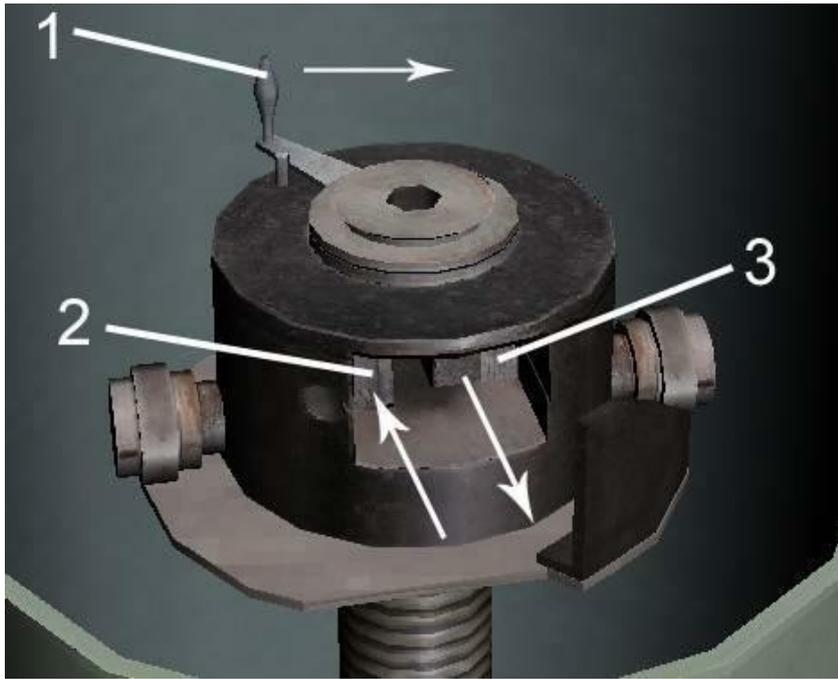


Рисунок 3.1. Работа захвата

3. Включите КМ-50-1. Поверните тумблер (2) (рис. 4.2) в положение «Вкл».

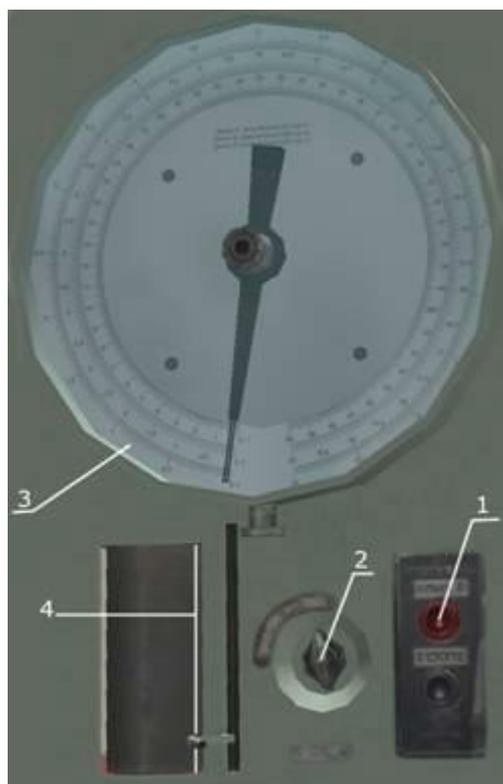


Рисунок 3.2. Пульт управления и индикаторные приборы

Нажмите кнопку «ПУСК» (1). Образец начнет закручиваться. На шкале отобразится напряжение.



Рисунок 3.3. Шкала момента

4. Одна стрелка связана с процессом и показывает данные процесса, а вторая стрелка приводится в движение первой. Смысл второй стрелки - показать максимальное зафиксированное значение, то есть когда первая шкала укажет максимум, а потом пойдет на понижение, вторая шкала останется на максимуме. Ручное управление второй стрелкой осуществляется при помощи рукоятки в центре.

Из отверстия динамографа начнет выходить диаграмма.

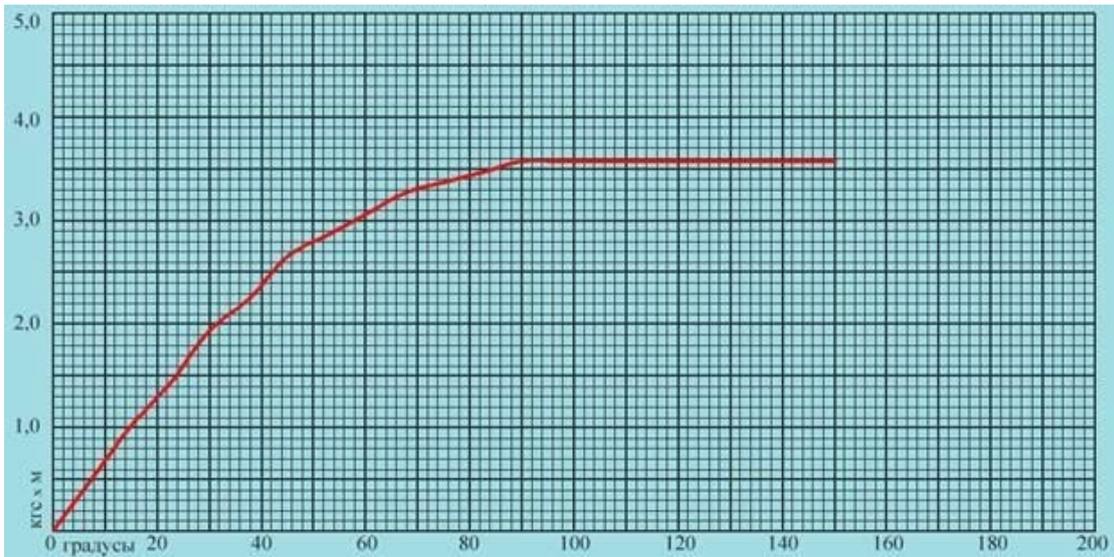
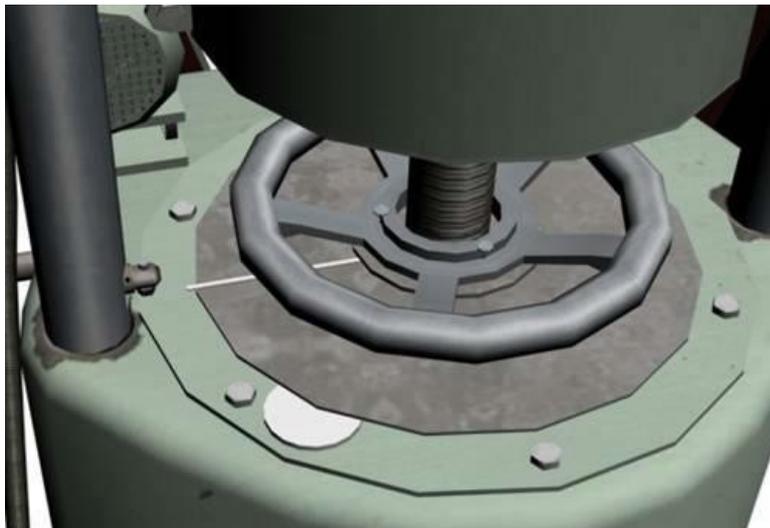


Рисунок 3.4. Пример диаграммы зависимости угла закручивания от прилагаемого момента

На рис. 3.5 серая подложка является шкалой отображающей угол закручивания.



### Рисунок 3.5. Шкала угла поворота

Шкала по кругу проградуирована от 0 до 360. Белый квадратик – стрелка, показывающая угол. Стрелка неподвижна, вращается диск со шкалой. Изначально диск ориентирован на 0. Эту шкалу можно вращать до проведения опыта, пока кнопка «ПУСК» не была нажата. Вращать ее пользователю нужно, только для установки на 0. Если перед опытом (вторым или третьим) ноль не выставлен, то угол закручивания суммируется с предыдущим.

Маленький белый цилиндр – шкала счетчика полных оборотов, от 0 до 10. Шкалу также можно вращать только не во время проведения опыта, неустановленная на ноль шкала суммирует предыдущий опыт с проводящимся.

5. После проведения опыта образец разрывается. КМ-50-1 автоматически выключается. Необходимо извлечь сломанный образец (можно положить его на стол).

6. Необходимо извлечь диаграмму процесса. диаграмму можно положить на стол и увеличить (клик левой клавишей мыши).

7. Установить шкалы и пассивную стрелку на ноль.

8. По соответствующим шкалам последовательно зафиксируйте угол закручивания  $\varphi$  и соответствующее ему значение крутящего момента  $M_k$  вплоть до разрушения образца.

9. По полученным значениям изобразите диаграмму кручения образца.

### 3.2. Вычисления

1. Вычислите условный предел прочности при кручении для чугунного и деревянного образцов:

$$\tau_B = \frac{M_{\max}}{W_p}, \quad (3.1)$$

где  $\tau_B$  - предел прочности при кручении;

$M_{\max}$  - разрушающий момент;

$W_p$  - полярный момент сопротивления, вычисленный по диаметру образца до испытания по формуле:

$$W_p = \frac{\pi d^3}{32},$$

Для стального образца применяется следующая формула:

$$\tau_B = \frac{M_{\max}}{W_{\text{ПН}}}, \quad (3.2)$$

где  $W_{\text{ПН}}$  - пластический момент сопротивления, вычисляемый по формуле:

$$W_{\text{ПН}} = \frac{\pi d^3}{16}.$$

Для стального образца используется формула (3.1), потому что этот вид образца разрушается при получении больших пластических деформаций.

А так как  $\frac{\pi d^3}{12} = \frac{4}{3} \cdot \frac{\pi d^3}{16} \Rightarrow W_{\text{ПН}} = \frac{4}{3} W_p$ , для стального образца можно

использовать формулу:

$$\tau_B = \frac{4}{3} \frac{M_{\max}}{W_p}, \quad (3.3)$$

2. По величине угла закручивания, при котором произошло разрушение образца, определите пластичность материала.

3. Оформите отчет по лабораторной работе.

#### **4. ОТЧЕТ**

1. Цель и задачи работы.
2. Приборы, оборудование и обеспечение.
3. График зависимости угла закручивания  $\Delta\varphi$  от крутящего момента  $M$ .
4. Вычисление основных механических характеристик.
5. Выводы.

## **5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Какие напряжения возникают в точках образца при кручении: в плоскостях, перпендикулярных к оси; в плоскостях, расположенных под углом  $45^\circ$  к оси стержня?
2. Как по характеру разрушения образца определить, какой вид напряжений наиболее опасен для данного материала?
3. Что можно сказать о свойствах материала, если разрушение образца произошло по плоскости, расположенной под углом  $45^\circ$  к его оси?
4. Какие образцы называются нормальными?
5. Чем отличаются нормальные участки диаграмм кручения чугунного и стального образцов?
6. Какой вид имеют поверхности излома чугунного и стального образцов?
7. Чем отличаются формулы для подсчета условного предела прочности при кручении для образцов из пластинчатых и хрупких материалов?
8. При испытании было установлено, что один образец разрушается при угле закручивания  $60^\circ$ , а другой – при угле  $500^\circ$ . Сравните пластичность испытываемых материалов?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

### «ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИИ БАЛКИ ПРИ ИЗГИБЕ»

**Цель работы** – усвоение студентами основы инженерных методов определения линейных и угловых перемещений в произвольных сечениях балки.

**Задача** - проверка формул сопротивления материалов (интеграл Мора) экспериментальным методом и оценка погрешности.

**1. ТЕОРИЯ. ОБЩИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ, ПРИГОДНЫЙ  
ДЛЯ ЛЮБОЙ ЛИНЕЙНО-ДЕФОРМИРУЕМОЙ СИСТЕМЫ**

Рассмотрим общий метод определения перемещения, пригодный для любой линейно-деформируемой системы, при любой нагрузке. Этот метод предложен выдающимся немецким ученым О. Мором.

Согласно метода Мора для определения линейного или углового перемещения сечения, необходимо воспользоваться интегралом Мора в виде:

$$\Delta = \sum_n \int_0^l \frac{M_1 \cdot M_F \cdot dz}{EJ}, \quad (1.1)$$

где  $EJ$  – жесткость участка балки;

$M_1$  – выражение для изгибающего момента для произвольного участка, от единичной нагрузки, приложенной к сечению, где определяются перемещение;

$M_F$  – выражение для изгибающего момента от заданной внешней нагрузки для того же произвольного участка.

Интеграл записывается для каждого участка балки.

В качестве примера рассмотрим балку с консолями постоянной жесткости  $EJ$  и лежащую на двух опорах (рис. 1.1). Загрузим её на консоли в точке 4 силой  $F$  и поставим перед собой задачу методом Мора определить перемещение сечений в точках 2, 4 (рис. 1.1) и угол поворота сечения на левой опоре в точке 1.

Определим из уравнений равновесия балки реакции в опорах 1, 3

$$\sum M_1 = B \cdot 2l - F \cdot 3l = 0 \quad B = 1,5F \quad (1.2)$$

$$\sum M_3 = A \cdot 2l - Fl = 0 \quad A = 1,5F \quad (1.3)$$

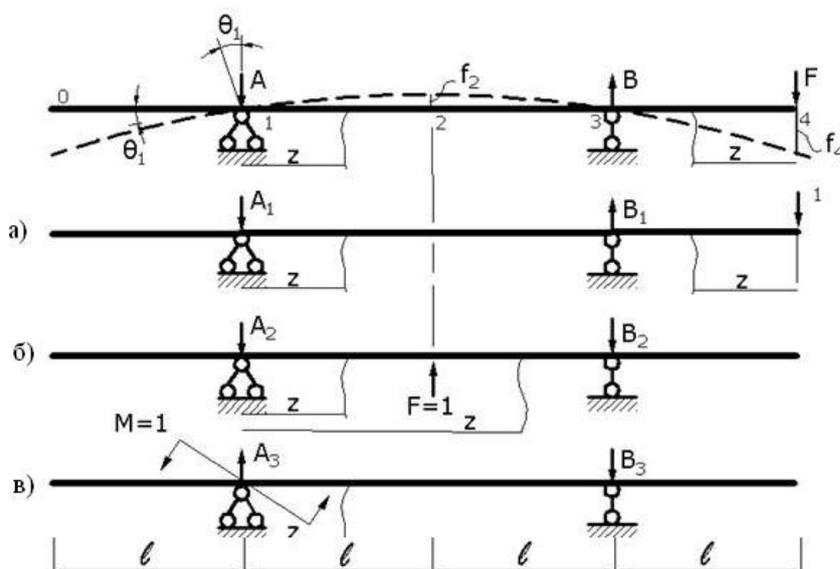


Рисунок 1.1. Расчетная схема балки.

Согласно предложенного метода, запишем уравнения моментов для каждого участка балки (1.4).

$$\begin{aligned} M_{1-3} &= -A \cdot z \quad (0 \leq z \leq 2\ell) \\ M_{4-3} &= -F \cdot z \quad (0 \leq z \leq \ell) \end{aligned} \quad (1.4)$$

Для определения перемещения сечения в точке 4 прикладываем единичную силу по направлению этого перемещения (рис. 1.1 а) и определяем от неё реакции на опорах.

$$\begin{aligned} \sum M_1 &= A_1 \cdot 2\ell - 1 \cdot \ell = 0 \\ A &= 0.5 \end{aligned} \quad (1.5)$$

$$B = 1.5$$

$$\sum M_3 = B_1 \cdot 2\ell - 1 \cdot 3\ell = 0 \quad (1.6)$$

И для тех же участков записываем уравнение моментов:

$$\begin{aligned} \bar{M}_{1-3} &= -A_1 \cdot z \quad (0 \leq z \leq 2\ell) \\ \bar{M}_{4-3} &= -1 \cdot z \quad (0 \leq z \leq \ell) \end{aligned} \quad (1.7)$$

Полученные выражения подставляем в интеграл Мора (1.1)

$$f_4 = \frac{1}{EJ} \int_0^{2\ell} (B_1 - A_1 z)(-A_1 z) dz + \frac{1}{EJ} (-Fz)(-1 \cdot z) dz = \frac{F\ell^3}{EJ} \quad (1.8)$$

Для определения перемещения в сечении (2) прикладываем единичную силу в этом сечении (рис. 1.1 б) и от неё определяем реакцию в опорах

$$\sum M_1 = B_2 \cdot 2\ell - 1 \cdot 3\ell = 0 \quad (1.9)$$

$$\sum M_3 = A_2 \cdot 2\ell - 1 \cdot \ell = 0$$

,

Записываем уравнение моментов от этой единичной силы

$$\begin{aligned}\overline{M}_{1-2} &= -A_2 \cdot z \quad (0 \leq z \leq \ell) \\ \overline{M}_{1-3} &= -A_2 \cdot z + 1(z-1) \quad (1 \leq z \leq 2\ell)\end{aligned}\tag{1.10}$$

Полученные выражения подставляем в (1.1)

$$f_2 = \frac{1}{EJ} \int_0^{\ell} (-Az)(-A_2 z) dz + \frac{1}{EJ} \int_0^{2\ell} (-Az)[(-A_2 z) + 1(z-1)] dz = \frac{F\ell^3}{4EJ}\tag{1.11}$$

Для определения угла поворота сечения на левой опоре приложим к ней единичный момент (рис. 1.1 в) и определим от него реакции в опорах:

$$\sum M_1 = -1 + (B_3 \cdot 2\ell) = 0 \rightarrow B_3 = \frac{1}{2\ell} \quad (1.12)$$

$$\sum M_3 = A_3 \cdot 2\ell - 1 = 0 \rightarrow A_3 = \frac{1}{2\ell}$$

Запишем уравнения моментов для каждого участка для балки (рис. 1.1 в)

$$\bar{M}_{1-3} = -1 + (A \cdot z) \quad (0 \leq z \leq 2\ell) \quad (1.13)$$

Определяем угол поворота сечения на левой опоре по формуле (I)

$$Q_1 = \frac{1}{EJ} \int_0^{2\ell} (-Az)(-1 + A_3 z) dz = \frac{F\ell^2}{3EJ} \quad (1.14)$$

## 2. ОБОРУДОВАНИЕ

### 2.1. Активные клавиши

Для работы в этой лабораторной работе применяются следующие клавиши:

- W, S, A, D – для перемещения в пространстве;
- F2, E – аналоги средней клавиши манипулятора (при первом нажатии берется объект, при последующем – ставится);
- F10 – выход из программы.



Рисунок 2.1. Активные клавиши клавиатуры

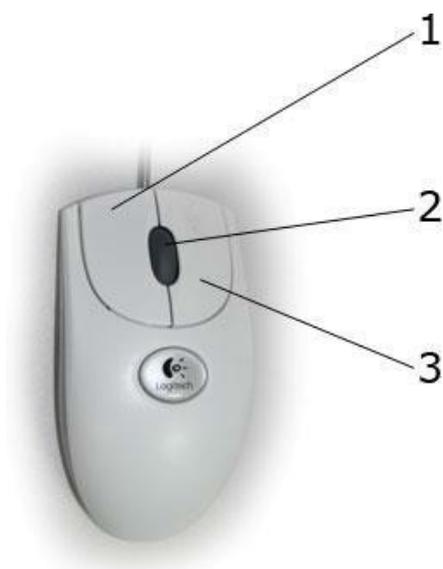


Рисунок 2.2. Функции манипулятора

Левая клавиша мыши (1) - при нажатии и удерживании обрабатывается (поворачивается, переключается) тот или иной объект.

Средняя клавиша (2) - при первом нажатии (прокрутка не используется) берется объект, при последующем – ставится (прикрепляется).

Правая клавиша (3) - появляется курсор-указатель (при повторном - исчезает).

Примечание: При появившемся курсоре невозможно перевести взгляд вверх и стороны.

## 2.2. Инструменты для испытаний

Для проведения лабораторной работы понадобится следующее оборудование:

- установка СМ-4А;
- стрелочный индикатор с опорой;
- комплект грузов, массой 10 Н;
- линейка.

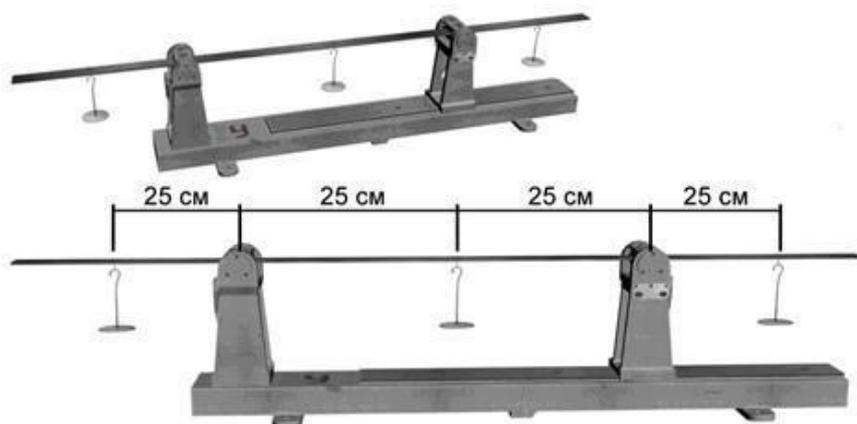


Рисунок 2.3. Установка СМ-4А

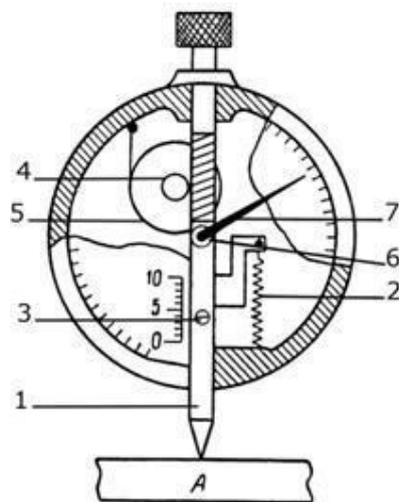


Рисунок 2.4. Схема стрелочного индикатора

Стрелочным индикатором измеряются перемещения (прогибы). Схема его показана на рис. 2.4.

Для измерения перемещений он устанавливается неподвижно и штифтом (1) опирается в точке А, перемещение которой определяется по направлению штифта (1). При перемещении точки А конец штифта следует за ней, так как штифт при помощи пружинки (2) все время прижат к этой точке.

Перемещение штифта отмечается движением указателя (3), прикрепленного к штифту, по шкале с миллиметровыми делениями, нанесенными по краю прорези.

Штифт в средней части имеет винтовую нарезку и соединен с червячным колесом (4), на одной оси с которым помещается шестеренка (5). Шестеренка (5) находится в

соединении с шестеренкой (6), к оси которой прикреплена стрелка (7). При

перемещении штифта на 1 мм стрелка, благодаря принятым соотношениям размеров червячной и шестереночной передач делает полный оборот. По окружности, описываемой стрелкой, нанесена шкала со 100 делениями. Следовательно, одно деление циферблата соответствует перемещению штифта на 0,01 мм.

Таким образом, по вертикальной шкале отсчитываются целые миллиметры, а по циферблату – доли миллиметра. Если отсчеты по циферблату оценивать на глаз, до одной десятой деления, то измерение перемещений может быть произведено с точностью до 0,001 мм.

В некоторых моделях индикаторов, вместо прорези со шкалой для отсчета целых миллиметров перемещения штифта устроен второй циферблат с маленькой стрелкой и отсчитываются целые миллиметры (рис. 2.5). Величина поступательного перемещения штифта, а следовательно, и предельное перемещение, которое можно измерить без перестановки индикатора, обычно равняется 10 мм.

Стрелочным индикатором можно определять и линейные деформации. При измерении деформаций индикатор закрепляется между двумя точками (сечениями) таким образом, чтобы корпус его был неподвижно скреплен с одной точкой (сечением), а штифт опирался в другой точке. Изменение отсчетов по циферблату и даст величину изменения длины между фиксированными точками (сечениями).

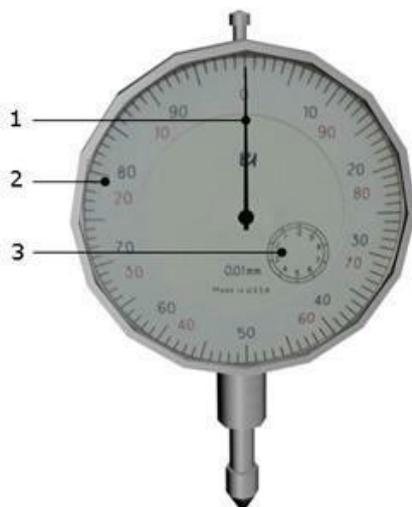


Рисунок 2.5. Стрелочный индикатор

На большой шкале (2) расположено 100 делений. Полный круг стрелки (1) будет соответствовать 1 мм, соответственно одно деление – 0,01 мм. Черная разметка – движение измерительной иглы снизу вверх (вдавливание иглы внутрь прибора). Красная шкала – движение стрелки из прибора (сверху вниз). Маленькая круглая шкала (3) считает целые миллиметры (всего 10 мм).

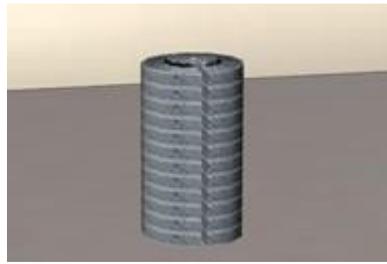


Рисунок 2.6. Комплект грузов



Рисунок 2.7. Линейка, установленная на балке

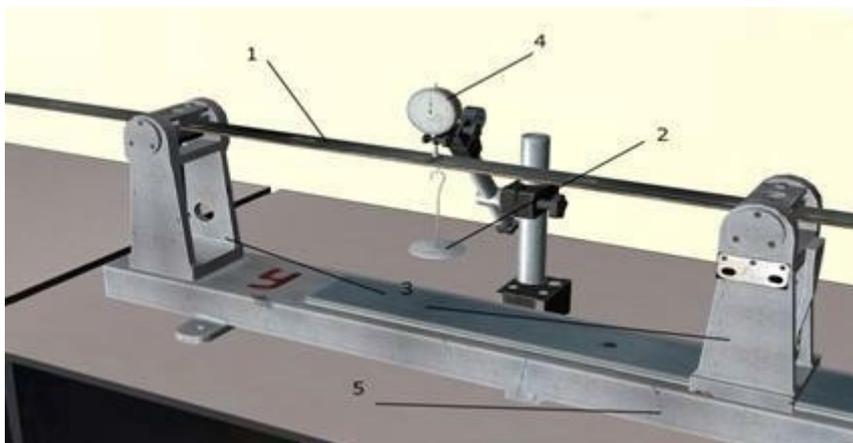


Рисунок 2.8. Установка СМ-4А для определения перемещений при изгибе

Для опыта возьмем балку (1) прямоугольного сечения с размерами  $b$  и  $h$  и размерами участков  $L$ , показанных на рис. 2.5.

Нагрузим её на конце силой  $F$ . Нагрузка осуществляется путем приложения к подвеске (2) грузов  $F$ . Балка опирается на две опоры (3).

Размеры балки выбраны так, что бы при небольшой нагрузке она получала значительные деформации, т.е. балка изгибается в плоскости наименьшей жесткости.

Измерение прогиба в интересующем нас месте осуществляется с помощью индикатора (4), закрепленного на станине (5) при помощи стойки.

Для определения угла поворота сечения на левой опоре используют также индикатор, установленный на левой консоле.

### **3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ**

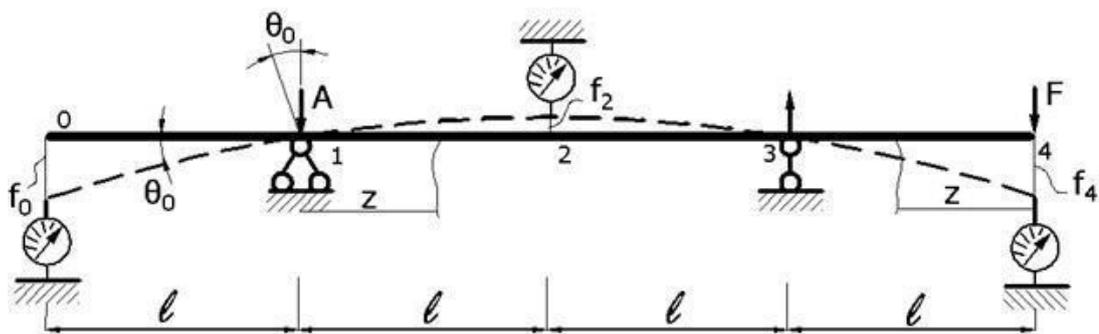


Рисунок 3.1. Схема установки СМ-4А

Перед опытом измеряем размеры поперечного сечения  $b$  и  $h$  длины  $l$ . Взяв линейку в руки, применим ее к СМ-4А. Перемещая линейку влево и вправо, визуально замерим размеры на балке (от опор до штырей для груза).

Устанавливаем индикатор в точке (0), стрелки устанавливаем на ноль. Стрелочный индикатор должен находиться над средним навесом для груза. Игла измерительная должна едва касаться балки. Затем балку нагружаем нагрузкой  $F$  и записываем показания индикатора.

Устанавливаем индикатор в точке (2), стрелки устанавливаем на ноль. Стрелочный индикатор должен находиться над средним навесом для груза. Игла измерительная должна едва касаться балки. Записываем показания индикатора.

Устанавливаем индикатор в точке (4), стрелки устанавливаем на ноль. Стрелочный индикатор должен находиться над средним навесом для груза. Игла измерительная должна едва касаться балки. Записываем показания индикатора.

Таблица для занесения данных

Нагрузка $\Gamma$ , н	Показания индикатора (в делениях прибора)						Прогибы		
	$\Gamma_0$	$\Delta\Gamma_0$	$\Gamma_2$	$\Delta\Gamma_2$	$\Gamma_4$	$\Delta\Gamma_4$	$\Delta\Gamma_0 \cdot k$	$\Delta\Gamma_2 \cdot k$	$\Delta\Gamma_4 \cdot k$
$F_{\text{ср}}$ Средние приращения отсчетов		$\Delta\Gamma_{0\text{ср}} =$		$\Delta\Gamma_{2\text{ср}} =$		$\Delta\Gamma_{4\text{ср}} =$			

Определив прогибы сечения 2 и 4, сравниваем полученные значения с теоретическими значениями прогибов этих же сечений по формулам 1.8, 1.11

$$f_4^{\text{теорет}} = \frac{F\ell^3}{EJ} \quad f_2^{\text{теорет}} = \frac{F\ell^3}{4EJ} \quad (1.15)$$

и сравниваем их величины в процентах

(16)

$$\frac{\overset{\text{теорет}}{f}}{\overset{\text{теорет}}{f_4}} \cdot \Delta f_4 k \cdot 100\% =$$

$$\frac{\overset{\text{теорет}}{f}}{\overset{\text{теорет}}{f_2}} \cdot \Delta f_2 k \cdot 100\% =$$

Угол поворота на левой опоре определим по показанию левого индикатора  $f_{0cp} \cdot k$

$$\text{tg}\theta_1 = \frac{f_{0cp} \cdot k}{\ell} \approx \theta_1 \quad (1.17)$$

Теоретический угол поворота получим по формуле (1.4)

$$\theta_1^{\text{теор}} = \frac{F\ell^2}{3EJ_1} \quad (1.18)$$

Сравним их величины в процентах

$$\frac{\theta_1^{\text{теор}} - \theta_1}{\theta_1^{\text{теор}}} \cdot 100\% = \quad (1.19)$$

#### 4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие методы определения деформаций при изгибе вы знаете?
2. Что является деформацией при изгибе?
3. Что такое линейная деформация при изгибе?
4. Что такое угловая деформация при изгибе?
5. Как влияют упругие свойства материала на деформацию?
6. Как влияют размеры и форма сечения балки на деформацию?
7. Что такое поперечная сила и как она определяется в произвольном сечении балки (правило знаков)?
8. Что такое изгибающий момент и как он определяется в произвольном сечении балки 9. (правило знаков)?
9. Что такое грузовой момент?
10. Что такое единичный момент?
11. Напишите формулу интеграла Мора.
12. В каком случае нужно прикладывать единичную силу, а в каком – единичный момент?
13. В каких пределах ведется интегрирование при определении деформаций по интегралу Мора?
14. Напишите условие жесткости.

## 5. ОТЧЕТ

Цель работы \_\_\_\_\_

Испытательная установка

Схема нагружения балки и расположение на ней всех приборов

---

Размеры балки:

Ширина	_____ b _____	MM
Высота	_____ h _____	MM
Момент инерции	_____ J _____	MM <sup>4</sup>
Модуль упругости	_____ E _____	H/MM <sup>2</sup>

Показание приборов в (табл. 1)

\_\_\_\_\_  $f_2^{TEOP}$  \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  $f_4^{TEOP}$  \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  $f_0^{TEOP}$  \_\_\_\_\_

Q<sub>1</sub> \_\_\_\_\_

Расхождение в %

f<sub>2</sub>

f<sub>4</sub>

---

Выводы:

Работу выполнил

Отчет принял

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Прожерин А.Е., Накорнеева Т.Д., Денисов П.Ю. Механические свойства конструкционных материалов (испытание на растяжение): Методические указания. – Тюмень: Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2002. – 12с.
2. Беляев Н.М. Лабораторные работы по сопротивлению материалов: Учебное пособие для вузов.–М.: Государственное издательство технико-теоретической литературы, 2004. – 278с.
3. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов: учебник для вузов.– М.: Издательство МГТУ им. Баумана, 2004. – 592 с.157-187.
4. Рубашкин А.Г. Лабораторные работы по сопротивлению материалов: Учебное пособие. – М.: Высшая школа. 1971. – 240с.
5. Баклицкий В.Ф. Методические указания к лабораторным работам. - Тюмень: Изд-во ТюмГНГУ, 1988.
6. Баклицкий В.Ф. Методические указания к лабораторной работе по дисциплине «Прикладная механика» на тему «Опытная проверка теоремы о взаимности перемещений». – Тюмень: Изд-во ТюмГНГУ, 1995. – 8с.
7. Ильницкая О.В., Шиморова Г.В. Руководство по лабораторным работам по курсу «Сопротивление материалов». – Тюмень, Изд-во ТВИКУ, 1987. – 70с.