

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**БРАТСКИЙ ЦЕЛЛЮЛОЗНО-БУМАЖНЫЙ КОЛЛЕДЖ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БРАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

15.02.12 Монтаж, техническое обслуживание и ремонт промышленного
оборудования (по отраслям)

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

по дисциплине
«ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА»

Братск 2021

Составила (разработала) Никитина Н.А., преподаватель кафедры химико-механических дисциплин

Методическое пособие по дисциплине «Техническая механика» предназначено для студентов специальности 15.02.12 Монтаж, техническое обслуживание и ремонт промышленного оборудования (по отраслям) для выполнения лабораторных работ.

Рассмотрено на заседании кафедры химико-механических дисциплин

« _____ » _____ 20__ г.

(Подпись зав. кафедрой)

Одобрено и утверждено редакционным советом

(Подпись председателя РС)

« _____ » _____ 20__ г.

№ _____

Содержание

Введение.....	4
1 Испытание на прочность при растяжении.....	5
2 Испытание на сжатие деревянных образцов.....	8
3 Определение модуля сдвига.....	10
4 Определение прогибов.....	14
Заключение	18
Список использованных источников	19
Приложения	20

Введение

Методические указания для выполнения лабораторных работ по «Технической механике» разработаны с учетом требования рабочей программы по специальности 15.02.12 Монтаж, техническое обслуживание и ремонт промышленного оборудования (по отраслям)».

В части освоения умений при выполнении лабораторных работ:

- определять напряжения в конструкционных элементах.

В части усвоения знаний при выполнении лабораторных работ:

- методику расчета элементов конструкций на прочность, жесткость и устойчивость при различных видах деформаций;

- основы расчетов механических передач и простейших сборочных единиц общего назначения.

1 Испытание на прочность при растяжении

1.1 Цель лабораторной работы

Целью лабораторной работы является – проведение испытание на прочность при растяжении, изучение диаграмму растяжения стали, установление характеристик прочности и пластичности материала образца, расчет допустимого напряжения.

1.2 Теоретическое обоснование

Испытание на растяжение является наиболее распространенным видом испытания материалов, так как при нем наиболее ярко выявляются характеристики прочности и пластичности материалов. При определении качества материала выпускаемого металлургической промышленностью одним из основных видов испытания также принято испытание на растяжение.

При статических испытаниях на растяжение определяют следующие характеристики прочности:

Предел пропорциональности $\sigma_{пч}$ – наибольшее напряжение, до которого справедлив закон Гука

Предел текучести σ_T – напряжение, при котором происходит рост пластической деформации без заметного увеличения нагрузки;

Предел прочности $\sigma_{пч}$ – наибольшее условное напряжение, которое определяется делением максимальной нагрузки выдерживаемой образцом до разрушения на первоначальную площадь его поперечного сечения;

Условный предел текучести $\sigma_{0,2}$ – напряжение, при котором деформация имеет наперед заданное значение. Данная характеристика назначается для хрупко-пластичных материалов, у которых отсутствует предел текучести.

Предельным напряжением называется напряжение, до которого материал не разрушается и не проявляет остаточных деформаций, до него можно нагружать лабораторные образцы.

Для пластичного материала предельным напряжением является – предел текучести σ_T

Для хрупкого материала предельным напряжением является – предел прочности $\sigma_{пч}$

Для хрупко-пластичного материала предельным напряжением является – условный предел текучести $\sigma_{0,2}$

Для реальных деталей недопустима работа на предельных напряжениях. Поэтому вводится допустимое напряжение $[\sigma]$, которое определяют по формуле

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{предельное}}{[s]}, \quad (1.1)$$

где $[\sigma]$ – допустимое напряжение, Н/мм²;

$\sigma_{\text{предельное}}$ – предельное напряжение, Н/мм²;

$[S]$ – нормативный коэффициент запаса прочности, $[s]=1,5\dots 2,0$.

Предельным напряжением для пластичных материалов является предел текучести, для хрупких материалов – предел прочности и для хрупко-пластичных – условный предел текучести.

Характеристиками пластичности при испытании, являются относительное остаточное удлинение при разрыве ε и относительное остаточное сужение ψ , которые определяются по формулам

$$\varepsilon = \frac{L_1 - L}{L} \cdot 100\% , \quad (1.2)$$

$$\psi = \frac{A_1 - A}{A} \cdot 100\% , \quad (1.3)$$

где L и L_1 – длина образца до и после испытания, мм

A и A_1 – площадь поперечного сечения образца до и после испытания, мм²

Площадь поперечного сечения до и после испытания, рассчитанную по формуле

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} , \quad (1.4)$$

где d – диаметр образца, мм.

1.3 Порядок выполнения работы

Познакомиться с лабораторной установкой (разрывная машина Р-20). Замерить диаметр образца. Отметить рабочую длину образца $L=10d$. Образец установить в разрывной машине и провести растяжение образца до разрушения. Замерить длину и диаметр после испытания. Замеры размеров проводить штангенциркулем.

1.4 Отчет по лабораторной работе

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Цель работы, отражающую тему и задачи.
2. Краткое теоретическое обоснование, где зарисовать диаграмму испытания стали, отметить на диаграмме предельные напряжения, дать определения.

3. Устройством машины, на которой проводится испытание, тип машины.

4. Результаты измерений, расчетов представить в виде таблицы 1.

Длину и диаметр до и после испытания замерить штангенциркулем. Площадь сечения, относительное удлинение и относительное сужение рассчитать по формулам, приведенным выше. Справочные данные выбрать из приложения А.

5. Рисунки образца до и после испытания.

6. Погрешность испытания в % рассчитать для относительного удлинения и относительного сужения по формулам

$$\delta_{\varepsilon} = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon}{\varepsilon} \cdot 100\% , \quad (1.5)$$

$$\delta_{\psi} = \frac{\psi_1 - \psi}{\psi} \cdot 100\% , \quad (1.6)$$

7. Сделать вывод. В выводе указать, что определяют опытным путем, какое напряжение является предельным для пластичного, хрупкого и хрупко-пластичного материала, по какому напряжению проводят расчеты на прочность, как оценить пластичность материала.

Таблица 1 – Испытание на прочность при растяжении

Размеры образца					
До испытаний			После испытаний		
Длина, мм	Диаметр, мм	Площадь, мм ²	Длина, мм	Диаметр, мм	Площадь, мм ²
Характеристики прочности					
По справочнику			Расчет		
Предел текучести σ_T МПа	Предел прочности $\sigma_{пч}$ МПа		Допустимое напряжение, МПа		
			$[\sigma] = \frac{\sigma_{предельное}}{[s]} =$		
Характеристики пластичности					
По справочнику			По результатам испытаний		
Относительное удлинение ε %	Относительное сужение ψ %		Относительное удлинение ε %	Относительное сужение ψ % $\sigma_{пч}$	

2 Испытание на сжатие деревянных образцов

2.1 Цель лабораторной работы

Целью лабораторной работы является установление поведения деревянных образцов при сжатии вдоль и поперек волокон, знакомство со справочными характеристиками дерева.

2.2 Теоретическое обоснование

Материалы, проявляющие одинаковые свойства в любом направлении называют изотропными.

Испытание деревянных образцов представляет особый интерес вследствие того, что свойства этого материала, имеющего волокнистую структуру, неодинаковы вдоль и поперёк волокон, такое поведение материала называется анизотропией.

Вдоль волокон дерево проявляет себя, как хрупкий материал, а поперек волокон пластичный.

Пределы прочности дерева вдоль и поперек волокон вычисляют по формуле

$$\sigma_{пч} = \frac{F_{пч}}{A}, \quad (2.1)$$

где $\sigma_{пч}$ – предел прочности, Н/мм²;

$F_{пч}$ – разрушающая нагрузка, соответствующая пределу прочности, Н;

A – площадь образцов вдоль или поперек волокон, мм².

Прочность дерева на сжатие поперёк волокон обычно в 8-10 раз меньше, чем вдоль волокон.

При сжатии вдоль волокон разрушение образца происходит при небольшой деформации. После достижения наибольшей нагрузки, образец начинает разрушаться и нагрузка падает. Проявляя хрупкость, образец крошится, на образце появляются трещины.

При испытании деревянного образца поперёк волокон, нагрузка сначала возрастает пропорционально деформации, затем возрастание нагрузки замедляется и кубик быстро деформируется, но разрушения не наблюдается (он лишь спрессовывается). За разрушающую нагрузку условно применяют то значение нагрузки, при которой кубик сжимается на одну треть своей первоначальной высоты.

Спрессованный образец можно подвергнуть повторному испытанию на сжатие вдоль волокон. Сила, разрушающая образец будет ещё больше (явление наклепа), разрушение произойдет мгновенно, с характерным хрупким хрустом.

Как правило, прочность всех материалов при сжатии выше прочности при растяжении, поэтому в справочной литературе приводят механические характеристики, полученные при испытании на растяжение.

2.3 Порядок выполнения работы

Испытание на сжатие проводят на машине Р20, как в предшествующей лабораторной работе. Для испытания применяют деревянные кубики со стороной 20мм.

При испытании образца вдоль волокон измерить стороны образца поперёк волокон и вычислить площадь поперечного сечения. Замеры провести штангенциркулем.

Установить образец на опорную плиту машины так, чтобы нагрузка действовала вдоль волокон, вручную переместить нижнюю опору до соприкосновения образца с верхней опорой. Включить электродвигатель машины и наблюдать за процессом сжатия образца, зафиксировать наибольшую нагрузку, которую выдержал образец. Остановить электродвигатель, произвести разгрузку машины и снять образец.

При испытании на сжатие поперек волокон, после замера образец устанавливают в испытательную машину так, чтобы нагрузка действовала поперёк волокон, провести сжатие. . Остановить электродвигатель, произвести разгрузку машины и снять образец.

2.4 Отчет по лабораторной работе

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- 1.Цель работы, отражающую тему и задачи.
2. Краткое теоретическое обоснование.
- 3.Устройством машины, на которой проводится испытание, тип машины.
4. Рисунки образца до и после испытания с размерами. Расчет площади сечения до и после испытаний по формуле

$$A=a \cdot a, \tag{2.2}$$

5. Справочные данные которые выбрать из приложения А и записать в таблицу 2 .

6. Вывод о прочности и пластичности дерева вдоль и поперек волокон.

Таблица 2 – Механические характеристики дерева

Наименование материала	Допускаемое напряжение			
	Растяжение [σ_p], Н/мм ²	Сжатие [σ_c], Н/мм ²	Срез [τ_{cp}], Н/мм ²	Смятие [σ_{cm}], Н/мм ²

3 Определение модуля сдвига

3.1 Цель лабораторной работы

В данной лабораторной работе требуется определить модуль сдвига G у дюралюминиевого, бронзового и стального образца экспериментально и сравнить полученные значения со справочными.

3.2 Теоретическое обоснование

Деформации при кручении оцениваются полным углом закручивания, который определяют по формуле

$$\varphi = \frac{M \cdot l}{G \cdot J_p}, \quad (3.1)$$

где φ – полный угол закручивания, рад;

M – крутящий момент, Н·мм;

l – длина образца, мм;

G – модуль сдвига, МПа;

J_p – полярный момент инерции, мм⁴.

Модуль сдвига G , входящий в данную формулу является основной характеристикой упругости материала при кручении, его называют модулем упругости 2-го рода или модулем поперечной упругости.

Выражаем из формулы модуль сдвига получаем формулу

$$G = \frac{M \cdot \lambda}{\varphi \cdot J_p}, \quad (3.2)$$

Крутящий момент M , создают, нагружением рычага длиной h , гирями весом F , схема нагружения показана на рисунке 1.

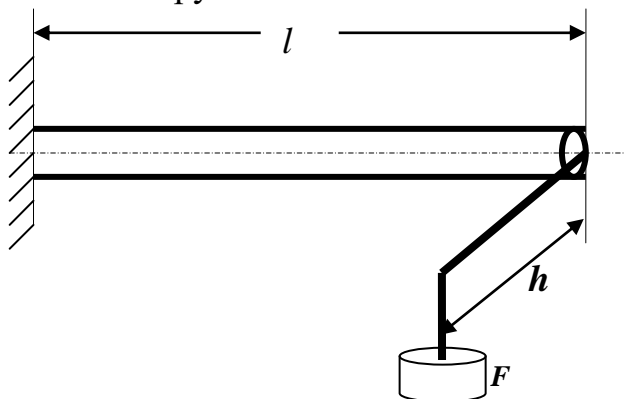


Рисунок 1 – Схема нагружения образцов

Длина рычага стального образца $h = 380\text{мм}$, дюралюминиевого и бронзового $h = 220\text{мм}$. В сечении образца возникает крутящий момент $M = F \cdot h$.
 Длину испытуемого образца l , задает преподаватель (указана в таблице).
 Полный угол закручивания φ измеряют прибором.
 Полярный момент инерции зависит от диаметров образцов и определён по формуле

$$J_p = 0,1d^4, \quad (3.3)$$

3.3 Порядок выполнения работы

Работа проводится на лабораторной установке УТМ12. Угол закручивания φ , определяют замерами. Измерение углов проводят индикатором часового типа (ИЧТ), с ценой деления $0,01\text{мм}$, что соответствует $0,01^\circ$. Схема замеров углов закручивания показана на рисунке 2.

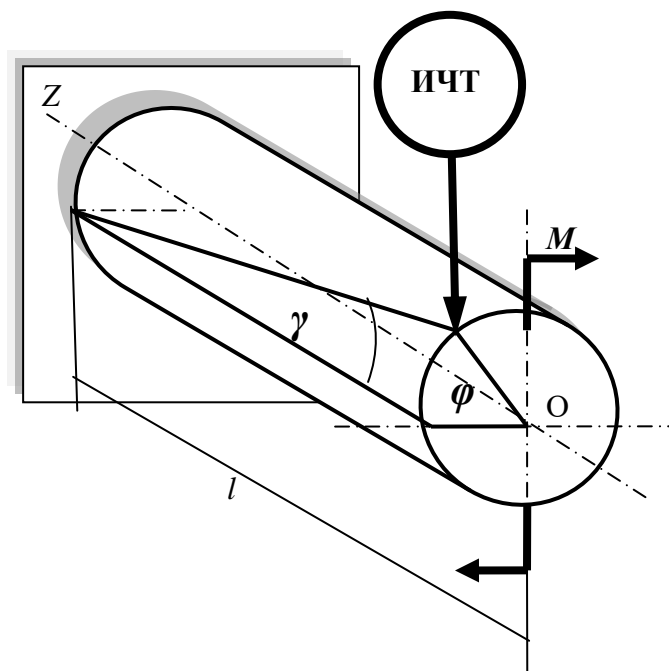


Рисунок 2 – Схема замеров углов закручивания

Для достижения достоверных результатов прибор устанавливают в зажим, и делают предварительную нагрузку одной гирей 5Н . Предварительная нагрузка необходима для обжатия образца в станине и проверки чувствительности индикатора к нагрузке. После проверки, стрелку индикатора устанавливают на ноль, поворотом головки и начинают нагружать рычаг гирями, снимая каждый раз показания с ИЧТ.

Для каждого образца снимают четыре замера, при нагружении одной, двумя, тремя и четырьмя гирями по 5Н .

3.4 Отчет по лабораторной работе

В отчете по лабораторной работе представить:

1. Цель работы, отражающую тему и задачи.
2. Краткое теоретическое обоснование, где зарисовать схему нагружения, с указанием заданной длины образца.
3. Описание устройства установки, на которой проводится испытание, её тип, а так же наименование прибора, которым проводили замеры, с указанием цены деления.
4. Результаты измерений углов закручивания для соответствующего образца записать в колонку 5, таблицы 3.

Таблица 3 – Расчет модуля сдвига

Длина плеча <i>l</i> , мм	Нагрузка <i>F</i> , <i>H</i>	Момент <i>M</i> , <i>H·мм</i>	Приращение момента ΔM , <i>H·мм</i>	Угол закручивания φ , <i>град</i>	Приращение угла $\Delta\varphi$, <i>град</i>	Среднее приращение $\Delta\varphi_{ср}$, <i>град</i>	Модуль сдвига расчет <i>G</i> , <i>H/мм²</i>	Модуль сдвига по справочнику $G_{ср}$, <i>H/мм²</i>	Погрешность испытания $\delta\%$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Дюралюминиевый образец.									
220	5	1100	1100					$2,7 \cdot 10^4$	
	10	2200							
	15	3300							
	20	4400							
Латунный (бронзовый) образец.									
220	5	1100	1100					$4 \cdot 10^4$	
	10	2200							
	15	3300							
	20	4400							
Стальной образец.									
380	5	1900	1900					$8 \cdot 10^4$	
	10	3800							
	15	5700							
	20	7600							

Приращения угла закручивания для каждого образца и среднее значение определяют по формулам

$$\Delta\varphi_{2-1} = \varphi_2 - \varphi_1 \quad \Delta\varphi_{3-2} = \varphi_3 - \varphi_2 \quad \Delta\varphi_{4-3} = \varphi_4 - \varphi_3, \quad (3.4)$$

$$\Delta\varphi_{ср} = \frac{\Delta\varphi_{2-1} + \Delta\varphi_{3-2} + \Delta\varphi_{4-3}}{3}, \quad (3.5)$$

Полученные значения записывают в колонки 6 и 7.

5. Модуль сдвига для каждого образца рассчитываем по формуле

$$G = \frac{57,3 \Delta M \cdot \lambda}{\Delta\varphi_{ср} \cdot J_P}, \quad (3.6)$$

где 57,3 – коэффициент для перевода градусов в радианы;

ΔM – приращение момента, Н·мм;

J_p – полярный момент инерции образцов, мм⁴;

$\Delta\varphi_{cp}$ – среднее приращение угла закручивания, град;

l – длина образцов, мм.

Для всех образцов полярный момент инерции $J_p=1,6 \cdot 10^4$ мм⁴, длина до места замера углов закручивания $l=700$ мм. ΔM и $\Delta\varphi_{cp}$ подставить из таблицы 3.

Полученный результат, для каждого образца, записать в колонку 8.

6. Погрешность испытания определяют по формуле

$$\delta = \frac{|G_{cnp} - G|}{G_{cnp}} \cdot 100\% , \quad (3.7)$$

Где G и G_{cnp} – расчетное и справочное значение модуля сдвига, соответственно.

7. Сделать вывод о жесткости образцов в сравнении.

4 Определение прогибов

4.1 Цель лабораторной работы

В данной лабораторной работе требуется определить прогибы двутавровых консольных балок, сравнить жесткость консольных балок.

4.2 Теоретическое обоснование

При изгибе балки деформируются таким образом, что их продольная ось искривляется. Изогнутая ось балки называется упругой линией.

Прогиб характеризуется величиной перемещений поперечных сечений f .

В расчетах на жесткость входит наибольший прогиб балки f_{max} , как показано на рисунке 1.

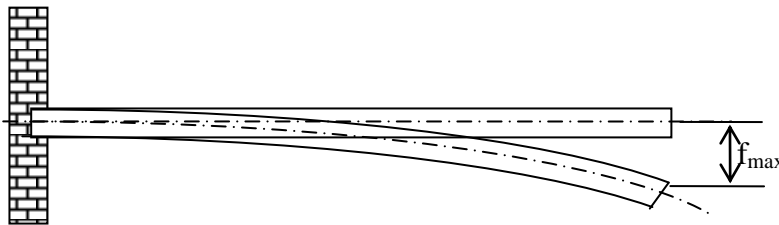


Рисунок 1 – Наибольший прогиб балки

Для консольной балки наибольший прогиб будет на конце консоли и определяется по формуле

$$f_{max} = \frac{F\lambda^3}{3EI}, \quad (4.1)$$

где f_{max} – наибольший прогиб балки, мм;

F – внешняя нагрузка, Н;

λ – длина балки в мм;

E – модуль продольной упругости материала балки, Н/мм²;

I – осевой момент инерции, мм⁴.

Произведение EI носит название жесткости балки при изгибе. Очевидно, что прогиб балки зависит от расположения сечения балки по отношению к изгибающей нагрузке.

Для консольных балок двутаврового сечения, показанных на рисунке 2

наибольший прогиб конца консоли можно определить по формулам

$$f_y = \frac{Fl^3}{3EJ_x}, \quad (4.2a)$$

$$f_x = \frac{Fl^3}{3EJ_y}, \quad (4.2б)$$

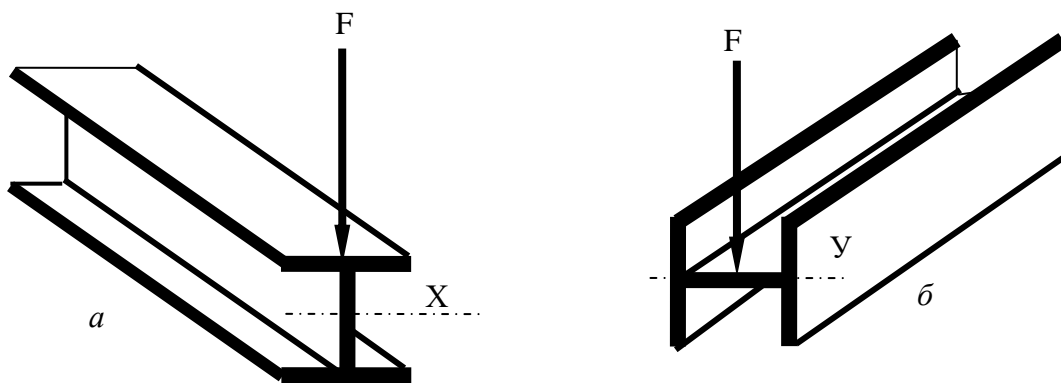


Рисунок 2 – Консольные балки

где F – нагрузка на балку, Н;

l – длина балок, мм;

I_x – осевой момент инерции сечения относительно оси X , мм⁴;

I_y – осевой момент инерции сечения относительно оси Y , мм⁴;

EI_x – жесткость балки относительно оси X ;

EI_y – жесткость балки относительно оси Y .

Балка на рисунке 2а обладает большей жесткостью, чем эта же балка на рисунке 2б, так как $I_x > I_y$ и очевидно, что прогиб балки на рисунке 2а будет меньше прогиба этой же балки на рисунке 2б, при одинаковой нагрузке.

Соотношение жесткости двух балок можно определить по формуле

$$K = \frac{EI_x}{EI_y} = \frac{I_x}{I_y} = \frac{f_x}{f_y}, \quad (4.3)$$

где K – отношение жесткостей;

f_x – прогиб балки вдоль оси X ;

f_y – прогиб балки вдоль оси Y .

Теоретический коэффициент отношений жесткости по рисункам 2а и 2б определяем по формуле

$$K_T = \frac{I_x}{I_y}, \quad (4.4)$$

где K_T - теоретическое отношение жесткостей балок на рисунке 2а и 2б. замерив фактические прогибы балок можно определи фактическое отношение жесткостей по формуле.

$$K_\phi = \frac{f_x}{f_y}, \quad (4.5)$$

где K_ϕ – фактическое отношение жесткостей схем.

Таким образом, можно сравнить теоретическое отношение жесткостей с фактическим.

4.3 Порядок выполнения работы

Работа проводится на лабораторной установке УТМ13. Погибы балок f , замеряют индикатором часового типа (ИЧТ), с ценой деления 0,01мм.

Для достижения достоверных результатов прибор устанавливают в зажим, и делают предварительную нагрузку одной гирей 5Н. Предварительная нагрузка необходима для обжатия образца в станине и проверки чувствительности индикатора к нагрузке. После проверки, стрелку индикатора устанавливают на ноль, поворотом головки и начинают нагружать рычаг гириями, снимая каждый раз показания с ИЧТ.

Длину консоли принять $\ell=300\text{мм}$. Осевые моменты инерции соответствуют для данного сечения $J_x=2\text{см}^4=20000\text{мм}^4$, $J_y=1\text{см}^4=10000\text{мм}^4$

Для каждого образца снимают четыре показания: f_{y1} , f_{y2} , f_{y3} , f_{y4} , при нагружении одной, двумя, тремя и четырьмя гириями по 5Н. Аналогичные замеры провести на второй балке.

4.4 Отчет по лабораторной работе

В отчете по лабораторной работе представить:

- 1.Цель работы, отражающую тему и задачи.
2. Краткое теоретическое обоснование.
- 3.Описание устройства установки, на которой проводится испытание, её тип, а так же наименование прибора, которым проводили замеры, с указанием цены деления.
- 4.Провести замеры прогибов f_y , f_x для образцов, провести вычисления. Вычислить приращения прогиба Δf_y по формуле

$$\Delta f_y = f_{y_{n+1}} - f_{y_n}, \quad (4.6)$$

где Δf_y – приращение прогиба между двумя нагружениями;
 f_{y_n} – показания индикатора предыдущего нагружения;
 $f_{y_{n+1}}$ – показания индикатора последующего нагружения.

Определить среднее приращение прогибов $\Delta f_{y,cp}$ по формуле

$$\Delta f_{y,cp} = \frac{\Delta f_{y_1} + \Delta f_{y_2} + \Delta f_{y_3}}{3}, \quad (4.7)$$

Аналогичные расчеты провести на второй балке.

Результаты замеров и расчетов занести в таблицы 4а и 4б.

Вычислить фактическое отношение жесткостей по формуле

$$K_\phi = \frac{\Delta f_{x,cp}}{\Delta f_{y,cp}}, \quad (4.8)$$

Теоретическое отношение жесткостей определить по формуле

$$K_T = \frac{I_x}{I_y}, \quad (4.8)$$

Результаты по формуле $K_T = 2$

Определить погрешность испытания по формуле

$$\delta = \frac{|K_T - K_\phi|}{K_T} \cdot 100\%, \quad (4.9)$$

5. Сделать вывод о рациональном сечении при изгибе.

Таблица 4а – Расчет прогибов в направлении оси У

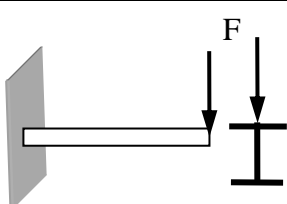
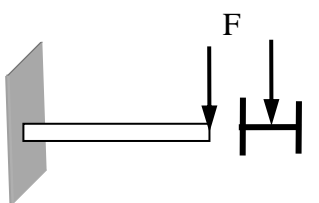
Нагрузка F, Н	Приращение нагрузки ΔF , Н	Прогиб f_y , мм	Приращение прогиба Δf_y , мм	Среднее значение приращение прогиба $\Delta f_{y,cp}$, мм	Расположения балки $J_x = 2 \cdot 10^4 \text{ мм}^4$
5	5				
10					
15					
20					

Таблица 4а – Расчет прогибов в направлении оси X

Нагрузка F, Н	Приращение нагрузки ΔF , Н	Прогиб f_x , мм	Приращение прогиба Δf_x , мм	Среднее значение приращение прогиба $\Delta f_{x, \text{cp}}$, мм	Расположения балки $J_y = 10^4 \text{ мм}^4$
5	5				
10			_____		
15			_____		
20					

Заключение

Методические рекомендации разработаны с учетом требований ФГОС по специальности 151031 Монтаж и техническая эксплуатация промышленного оборудования (по отраслям) и с учетом технического состояния лабораторного оборудования колледжа.

Выполнение лабораторных работ позволяет получить студентам знания и умения, предусмотренные ФГОС. Лабораторные работы, как правило, проводятся по подгруппам, а так же делением на малые группы. В результате студенты приобретают навыки корректного взаимодействия с обучающимися и преподавателем. Учатся соблюдать нормы этикета и профессиональной этики.

При выполнении работ студенты учатся работать с измерительными приборами, эти умения пригодятся в профессиональной деятельности.

Список использованных источников

1. Аркуша А.И. Техническая механика. Теоретическая механика и сопротивление материалов. - М., ВШ., 2002.
2. Биргер И.А., Мавлютов Р.Р., Сопротивление материалов, - М.,Наука, 1986.
3. Винокуров А.И. Сборник задач по сопротивлению материалов. М., ВШ., 1990.
4. Дубейковский Е.Н., Савушкин Е.С. Сопротивление материалов. – М., ВШ.,1985.
5. Иосилевич Г.Б. Прикладная механика. М., ВШ., 1989.
6. Куприянов Д.Ф., Метальников Г.Ф. Техническая механика. М., ВШ., 1975
7. Мовнин М.С., Израелит А.Б., Рубашкин А.Г. Основы технической механики, Л, Машиностроение, 1978.
8. Олофинская В.П., Техническая механика.-М., ФОРУМ-ИНФРА-М., 2013
9. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов.- М., Наука, 1974.
- 10.Эрдеди А.А., Эрдеди Н.А. Теоретическая механика. Сопротивление материалов. М., ВШ., Академия, 2001.

Приложение А

Механические характеристики

Таблица А1 – Механические характеристики сплавов

Наименование материала	Модуль продольной упругости E, МПа	Модуль сдвига G, МПа	Предел текучести σ_T , МПа	Предел прочности $\sigma_{пч}$ (растяжение), МПа	Относительное удлинение ε %	Относительное сужение Ψ %
Сталь углеродистая	$2 \cdot 10^5$	$8 \cdot 10^4$	240	380-470	21-27	20-60
Чугун серый	$1,1 \cdot 10^5$			120-380		
Дюралюминий	$0,7 \cdot 10^5$	$2,7 \cdot 10^4$	330	450-500	12	
Бронза		$4 \cdot 10^4$				

Таблица А2 – Механические характеристики дерева

Наименование	Обозначение	Значение
Модуль продольной упругости дерева	E	$0,1 \cdot 10^5$ МПа
Допускаемое напряжение смятия	$[\sigma_{см}]$	3 МПа
Допускаемое напряжение среза	$[\tau_{ср}]$	
для березы		4,5 МПа
для сосны		3,0 МПа
для дуба		6...5 МПа
Допускаемое напряжение клеевого соединения круглыми шипами на скалывание	$[\sigma_{ск}]$	0,8...1,15 МПа
Допускаемые напряжения растяжения	$[\sigma_p]$	
Сосна (вдоль волокон)		8...10 МПа
Сосна (поперек волокон)		8...10 МПа
Дуб (вдоль волокон)		10...13 МПа
Дуб (поперек волокон)		10...13 МПа
Допускаемые напряжения сжатия	$[\sigma_c]$	
Сосна (вдоль волокон)		10...12 МПа
Сосна (поперек волокон)		1,5...2 МПа
Дуб (вдоль волокон)		13...15 МПа
Дуб (поперек волокон)		20...35 МПа
Фанера растяжения (сжатия) изгиб	$[\sigma_p] = [\sigma_c]$ $[\sigma_{изгиба}] = [\sigma_p \text{ или } \varepsilon]$	40...50 МПа

Приложение Б

Тесты для защиты лабораторных работ «Испытание на прочность при растяжении» и «Испытание на сжатие деревянных образцов»

Задание 1

Закон Гука выполняется до...

- **Варианты ответов**

1. $\sigma_{\text{пч}}$ предел прочности
2. σ_{T} предел текучести
3. σ_{y} предел упругости
4. $\sigma_{\text{пц}}$ предел пропорциональности

Задание 2

Какое напряжение считают предельными для пластичного материала

- **Варианты ответов**

1. σ_{y}
2. $\sigma_{\text{пц}}$
3. $\sigma_{\text{пч}}$
4. σ_{T}

Задание 3

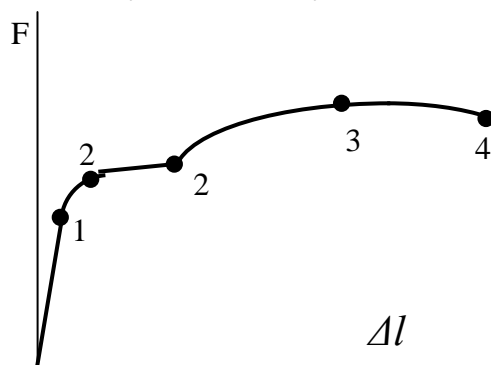
Какое напряжение считают предельными для хрупкого материала

- **Варианты ответов**

1. $\sigma_{\text{пц}}$
2. σ_{T}
3. σ_{y}
4. $\sigma_{\text{пч}}$

Задание 4

Указать участок текучести материала



- **Варианты ответов**

1. 0-1
2. 1-2
3. 2-2

Задание 5

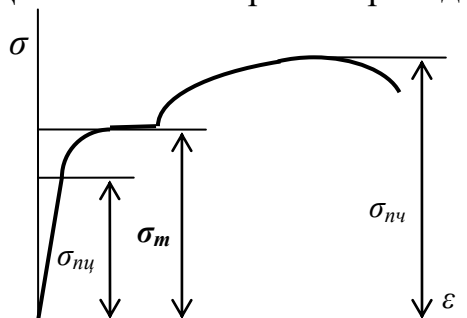
Указать точку, до которой в материале возникают только упругие деформации

- **Варианты ответов**

1. 1
2. 2
3. 3
4. 4

Задание 6

Для какого материала приведена диаграмма

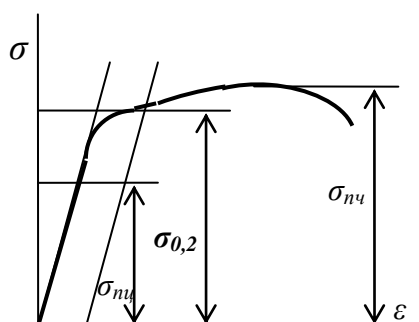


- **Варианты ответов**

1. хрупкий
2. хрупко-пластичный
3. пластичный
4. нет варианта

Задание 7

Для какого материала приведена диаграмма

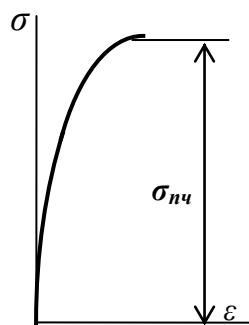


- **Варианты ответов**

1. хрупкий
2. хрупко-пластичный
3. пластичный
4. нет варианта

Задание 8

Для какого материала приведена диаграмма



- **Варианты ответов**

1. хрупкий
2. хрупко-пластичный
3. пластичный
4. нет варианта

Задание 9

При каком из напряжений образец начинает разрушаться

• **Варианты ответов**

1. σ_y – предел упругости
2. $\sigma_{\text{пц}}$ – предел пропорциональности
3. $\sigma_{\text{пч}}$ – предел прочности
4. σ_T – предел текучести

Задание 10

Выбрать основные характеристики пластичности материалов

• **Варианты ответов**

1. σ_T ; $\sigma_{\text{пц}}$ – предел текучести и пропорциональности
2. ε ; ψ – относительное удлинение и сужение в момент разрыва
3. $\sigma_{\text{пц}}$; $\sigma_{\text{пч}}$ – предел пропорциональности и прочности
4. $\sigma_{\text{пч}}$; σ_T – предел прочности и текучести

Задание 11

Определить предел текучести материала, если $F_{\text{пц}}=24\text{кН}$; $F_T=28\text{кН}$; $F_{\text{пч}}=40\text{кН}$.
Площадь поперечного сечения $A=50\text{мм}^2$

• **Варианты ответов**

1. 280МПа
2. 470МПа
3. 560МПа
4. 620МПа

Задание 12

Проверить прочность материала, если максимальное напряжение в сечении $\sigma = 240\text{МПа}$

$\sigma_{\text{пц}}=380\text{МПа}$; $\sigma_T = 400\text{МПа}$; $\sigma_{\text{пч}} = 640\text{МПа}$, запас прочности $s = 2,5$.

• **Варианты ответов**

1. $\sigma = [\sigma]$
2. $\sigma > [\sigma]$
3. $\sigma < [\sigma]$
4. Данных недостаточно

Задание 13

..... - способность конструкции сопротивляться усилиям, стремящимся вывести её из исходного состояния равновесия

• **Варианты ответов**

1. Прочность
2. Жесткость
3. Устойчивость
4. Твердость

Задание 14

..... - способность тел сопротивляться упругим деформациям

- **Варианты ответов**

1. Прочность
2. Жесткость
3. Устойчивость
4. Твердость

Задание 15

Как проявляет себя деревянный образец при сжатии вдоль и поперек волокон

- **Варианты ответов**

1. одинаково пластичный
2. вдоль волокон хрупкий, поперек пластичный
3. вдоль волокон пластичный, поперек хрупкий
4. одинаково хрупкий

Задание 16

Метод, с помощью которого определяют внутренние силовые факторы - ...

- **Варианты ответов**

1. метод проекций
2. метод сечений
3. метод уравнений

Задание 17

Какое напряжение в поперечном сечении возникает при растяжении (сжатии)

- **Варианты ответов**

1. Только нормальное
2. Только касательное
3. Нормальное и касательное

Задание 18

Единицы измерения относительного удлинения ϵ

- **Варианты ответов**

1. Безразмерная величина
2. мм
3. м

Задание 19

Единицы измерения модуля упругости E

- **Варианты ответов**

1. МПа
2. Н
3. Кг
4. Безразмерная величина

Задание 20

Геометрическая характеристика сечения при растяжении и сжатии

- **Варианты ответов**
 1. Площадь A
 2. Полярный момент инерции J_p
 3. Осевой момент инерции J_x
 4. Полярный момент сопротивления W_p

Задание 21

Распределение напряжения по сечению при растяжении

- **Варианты ответов**
 1. Постоянное
 2. Переменное
 3. Знакопеременное

Задание 22

Отношение изменения длины к первоначальной длине...

- **Варианты ответов**
 1. относительная продольная деформация
 2. абсолютная продольная деформация
 3. относительная поперечная деформация
 4. абсолютная поперечная деформация

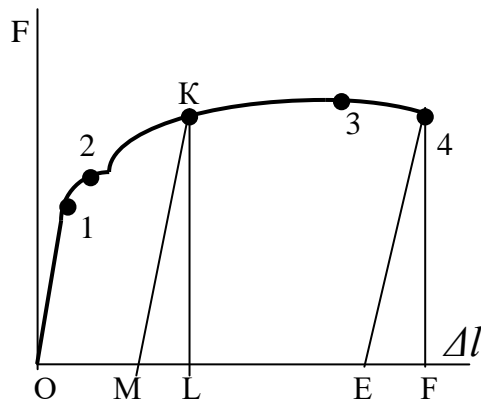
Задание 23

Как называют повышение прочности материала при его вытяжке за предел текучести

- **Варианты ответов**
 1. Наклёп
 2. Текучесть
 3. Ползучесть

Задание 24

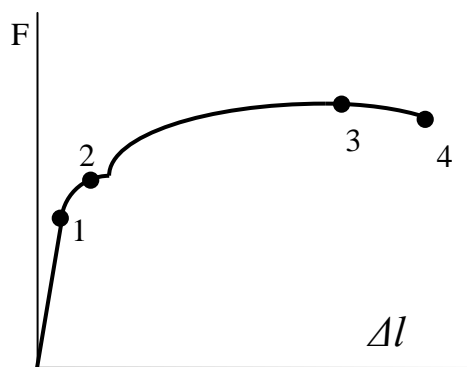
Указать остаточную деформацию образца для точки К



- **Варианты ответов**
 1. OM
 2. ML
 3. LE
 4. EF

Задание 25

В какой точке диаграммы растяжения на образце образуется шейка и начинается разрушение



• Варианты ответов

- | | |
|---|---|
| 1 | 1 |
| 2 | 2 |
| 3 | 3 |
| 4 | 4 |

Задание 26

Как называется и обозначается напряжение, при котором деформации растут при постоянной нагрузке

• Варианты ответов

1. Предел прочности $\sigma_{пч}$
2. Предел текучести σ_T
3. Допускаемое напряжение $[\sigma]$
4. Предел пропорциональности $\sigma_{пц}$

Задание 27

Зависимость $\sigma = E \cdot \varepsilon$, выполняется до...

• Варианты ответов

1. $\sigma_{пч}$
2. σ_y
3. σ_T
4. $\sigma_{пц}$

Задание 28

Выбрать точную запись условия прочности при растяжении и сжатии

• Варианты ответов

1. $\sigma = \frac{N}{A} = [\sigma]$
2. $\sigma = \frac{N}{A} \geq [\sigma]$
3. $\sigma = \frac{N}{A} \leq [\sigma]$
4. $\sigma = \frac{N}{A} \rangle [\sigma]$

Задание 29

Единицы измерения механического напряжения в системе СИ

- **Варианты ответов**

1. кг/см²
2. Н·мм
3. кН/мм²
4. Па

Задание 30

... - способность материала не разрушаться под действием внешних сил.

- **Варианты ответов**

1. Прочность
2. Жесткость
3. Устойчивость
4. Твердость

Задание 31

В квадратных скобках приводят... величины.

- **Варианты ответов**

- 1 Предельные
- 2 Фактические
- 3 Допустимые

Задание 32

По формуле $\sigma = \frac{N}{A}$, определяют...

- **Варианты ответов**

- 1 фактическое напряжение
- 2 допустимое напряжение
- 3 фактическое удлинение
- 4 коэффициент запаса прочности

Задание 33

Проектный расчет при растяжении (сжатии) проводят по формуле

- **Варианты ответов**

- 1 $\sigma = \frac{N}{A} \leq [\sigma]$
- 2 $A = \frac{N}{[\sigma]}$
- 3 $N = A \cdot [\sigma]$

Приложение В

Тесты для защиты лабораторной работы «Определение модуля сдвига»

Задание 1

Единицы измерения моментов инерции J

• **Варианты ответов**

1. мм^4
2. мм^3
3. м^2
4. м

Задание 2

Единицы измерения моментов сопротивления W

• **Варианты ответов**

1. мм^4
2. мм^3
3. м^2
4. м

Задание 3

Диаметр сплошного вала увеличился в двое. Как изменится площадь

• **Варианты ответов**

1. увеличится в 2 раза
2. увеличится в 4 раза
3. не изменится

Задание 4

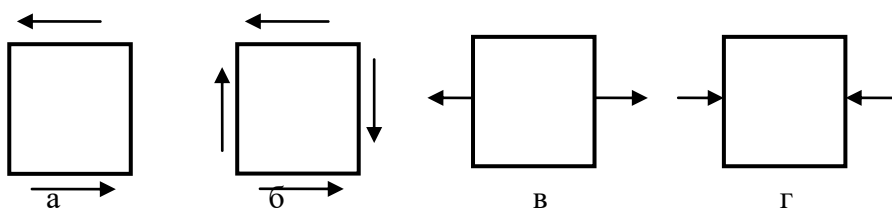
Какой внутренний силовой фактор возникает при кручении

• **Варианты ответов**

1. Q_x
2. M_z
3. M_x
4. N_z

Задание 5

Какое напряженное состояние называют «чистым сдвигом»



• **Варианты ответов**

1. а
2. б
3. в
4. г

Задание 6

Указанная величина в законе Гука называется углом...

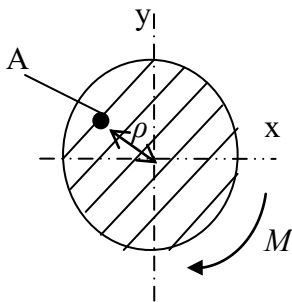
$$\tau = G \cdot \gamma$$

• **Варианты ответов**

1. закручивания
2. смещения
3. сжатия
4. сдвига

Задание 7

Выбрать формулу для определения напряжения в указанной точке



• **Варианты ответов**

1. $\tau = \frac{M}{W_\rho}$
2. $\tau = \frac{M \cdot \rho}{J_\rho}$
3. $\tau = G \cdot \gamma$
4. $\tau = \frac{Q}{A}$

Задание 8

Как изменится напряжение на поверхности круглого бруса, если крутящий момент увеличится в 3 раза

• **Варианты ответов**

1. Увеличится в 3 раза
2. Уменьшится в 3 раза
3. Увеличится в 9 раз
4. Не изменится

Задание 9

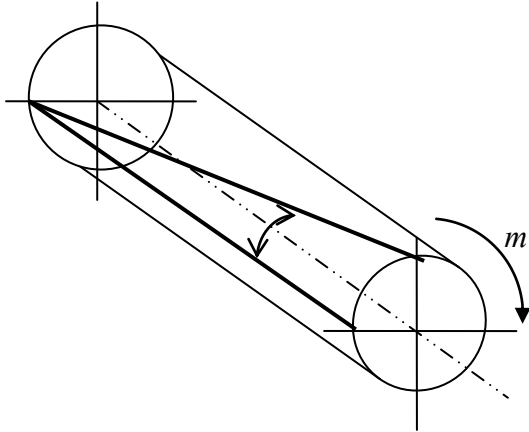
Как изменится диаметр круглого бруса после испытаний на кручение?

• **Варианты ответов**

1. увеличится
2. уменьшится
3. искривится
4. не изменится

Задание 10

Назвать деформацию при кручении



• **Варианты ответов**

1. Смещение
2. Угол сдвига
3. Угол закручивания
4. Сжатие

Задание 11

Назвать пропущенную величину в законе Гука: $\tau = \dots \cdot \gamma$

• **Варианты ответов**

1. модуль упругости
2. модуль сдвига
3. коэффициент поперечной деформации
4. момент сопротивления

Задание 12

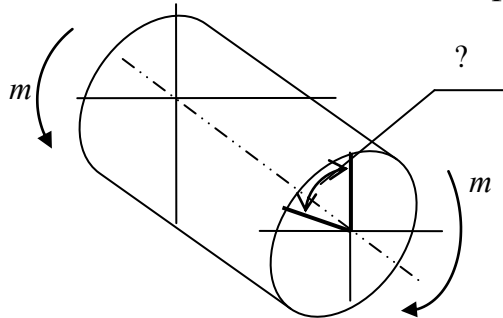
Что происходит в поперечном сечении бруса при кручении?

• **Варианты ответов**

1. расширяется
2. сужается
3. искривляется
4. поворачивается

Задание 13

Как называют и обозначают деформацию (указанную) при кручении?



• **Варианты ответов**

1. γ -угол сдвига
2. δ -угол поворота
3. φ -полный угол закручивания

Задание 14

Выбрать пропущенную букву в формуле, определяющей напряжение при кручении

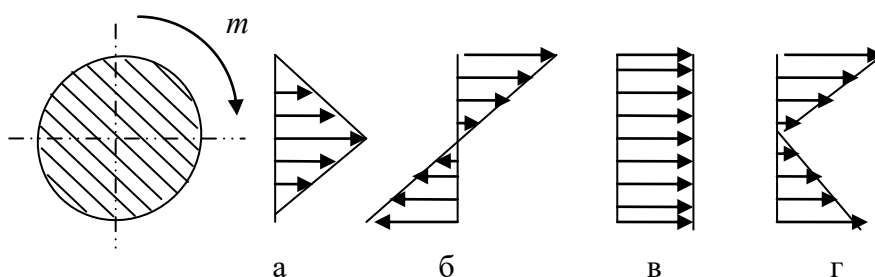
$$\tau = \frac{M \cdot l}{\dots \cdot J_{\rho}}$$

• **Варианты ответов**

1. E
2. G
3. μ
4. W_{ρ}

Задание 15

Как распределяется напряжение в поперечном сечении бруса при кручении



• **Варианты ответов**

1. а
2. б
3. в
4. г

Задание 16

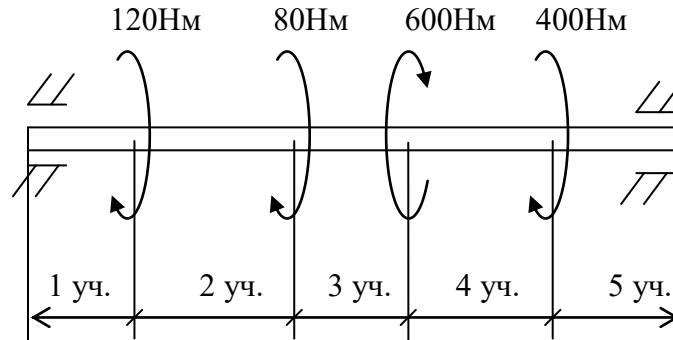
Как изменится максимальное напряжение при кручении, если диаметр бруса уменьшится в 2 раза?

• **Варианты ответов**

1. уменьшится в 2 раза
2. уменьшится в 8 раз
3. увеличится в 2 раза
4. увеличится в 8 раз

Задание 17

Какой участок вала постоянного сечения наиболее нагружен?



• **Варианты ответов**

1. 1 участок
2. 2 участок
3. 3 участок
4. 4 участок

Задание 18

Выбрать формулу для расчета угла закручивания вала

• **Варианты ответов**

1. $\gamma = \frac{\varphi_0}{l} r$
2. $\varphi = \frac{M_k \cdot l}{G \cdot J_p}$
3. $\gamma = \frac{\tau}{G}$
4. $\varphi = \varphi_0 \cdot l$

Задание 19

От каких факторов зависит выделенная величина $\tau = \frac{M_k \cdot \rho}{[J_\rho]}$

• **Варианты ответов**

1. от материала
2. от нагрузки
3. от длины вала
4. от диаметра

Задание 20

Выбрать верную запись условия жесткости

- **Варианты ответов**

1. $\varphi = \frac{M_{\kappa}}{GJ_{\rho}} \langle [\varphi_0] \rangle$
2. $\varphi = \frac{M_{\kappa}}{GJ_{\rho}} = [\varphi_0]$
3. $\varphi = \frac{M_{\kappa}}{GJ_{\rho}} \geq [\varphi_0]$
4. $\varphi = \frac{M_{\kappa}}{GJ_{\rho}} \leq [\varphi_0]$

Задание 21

Какие свойства материала характеризует модуль сдвига G .

- **Варианты ответов**

- 1 Прочность
- 2 Твердость
- 3 Упругость
- 4 Устойчивость

Задание 22

Как называется произведение $G \cdot I_{\rho}$

- **Варианты ответов**

- 1 Жесткость сечения
- 2 Жесткость бруса
- 3 Не имеет названия

Задание 23

Расположить материалы в порядке возрастания жесткости

- **Варианты ответов**

- 1 Алюминий, сталь, бронза
- 2 Бронза, алюминий, сталь
- 3 Сталь, бронза, алюминий
- 4 Сталь, алюминий, бронза

Задание 24

Что вы измеряли в лабораторной работе.

- **Варианты ответов**

- 1 Угол закручивания
- 2 Модуль сдвига
- 3 Угол сдвига
- 4 Угол поворота

Задание 25

Для чего в формуле определения модуля стоит коэффициент 57,3.

- **Варианты ответов**

- 1 Для перевода оборотов в градусы
- 2 Для перевода градусов в радианы
- 3 Для перевода оборотов в радианы

Задание 26

Что бы изменилось в ваших замерах, если бы были заданы меньшие длины расчетных участков.

- **Варианты ответов**

- 1 Показания прибора увеличились
- 2 Показания прибора уменьшились
- 3 Показания не изменились

Задание 27

Закон Гука для касательных напряжений...

- **Варианты ответов**

- 1 $\tau = \frac{M}{W_\rho}$
- 2 $\tau = \frac{M \cdot \rho}{J_\rho}$
- 3 $\tau = G \cdot \gamma$
- 4 $\tau = \frac{Q}{A}$

Задание 28

Каким прибором проводили замеры.

- **Варианты ответов**

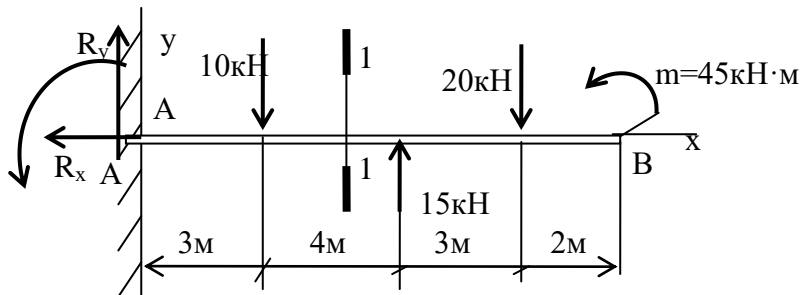
- 1 Штангенциркулем
- 2 Индикатором часового типа
- 3 Рейсмусом

Приложение В

Тесты для защиты лабораторной работы «Определение прогибов»

Задание 1

Определить величину поперечной силы в сечении 1 – 1

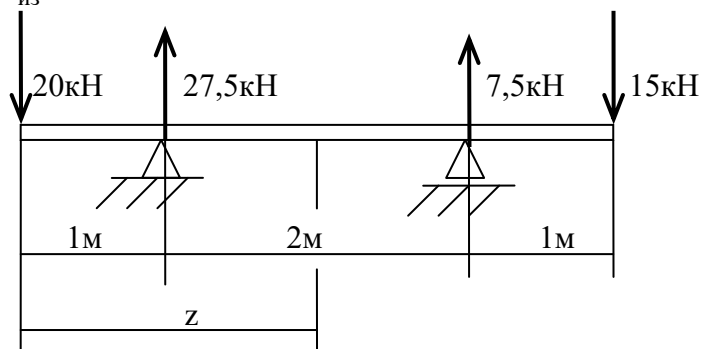


• **Варианты ответов**

1. $\downarrow 15\text{kN}$
2. $\uparrow 20\text{kN}$
3. $\uparrow 5\text{kN}$
4. $\downarrow 5\text{kN}$

Задание 2

Определить $M_{\text{из}}$ в сечении $z=2\text{м}$

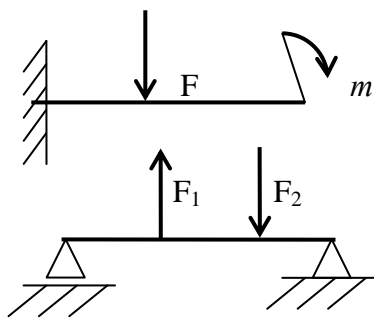


• **Варианты ответов**

1. $-12,5\text{kNm}$
2. $12,5\text{kNm}$
3. $27,5\text{kNm}$
4. -20kNm

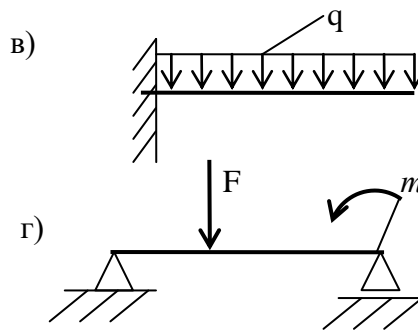
Задание 3

В какой из приведенных схем эпюра изгибающих моментов изображается квадратичной параболой?



а)

б)



в)

г)

• **Варианты ответов**

1. а
2. б
3. в
4. г

Задание 4

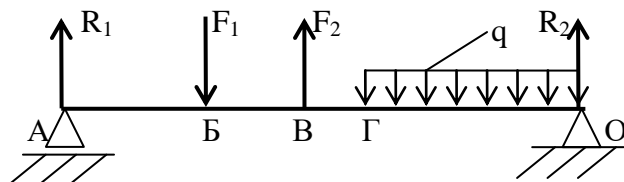
Какие внутренние силовые факторы возникают в поперечном сечении бруса при чистом изгибе

• **Варианты ответов**

1. $Q_y \neq 0; M_x = 0$
2. $Q_y \neq 0; M_x \neq 0$
3. $Q_y = 0; M_x = 0$
4. $Q_y = 0; M_x \neq 0$

Задание 5

На каких участках балки эпюра поперечных сил изображается прямой, параллельной оси балки?

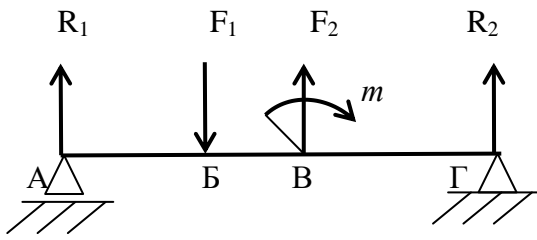


• **Варианты ответов**

1. ВГ, ГО
2. БВ, ВГ, ГО
3. АБ, БВ, ВГ
4. АБ, БС

Задание 6

В каком поперечном сечении балки на эпюре изгибающих моментов возникает скачек?

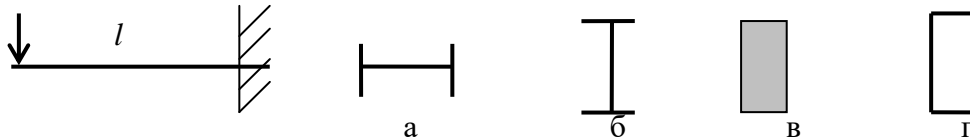


• **Варианты ответов**

1. А
2. Б
3. В
4. Г

Задание 7

Какое сечение при изгибе меньше прогнется?



• **Варианты ответов**

1. а
2. б
3. в
4. г

Задание 8

Указать единицы измерения величины, выделенной $\langle \rangle$ в формуле

$$\sigma = \frac{\langle M_{из} \rangle}{W}$$

• **Варианты ответов**

1. МПа
2. мм²
3. мм³
4. Нм

Задание 9

Единицы измерения осевых моментов сопротивления W_x , W_y

• **Варианты ответов**

1. мм⁴
2. мм²
3. мм³
4. Нм

Задание 10

Что ограничивают в расчетах на жесткость при изгибе?

• **Варианты ответов**

1. Угол закручивания
2. Угол сдвига
3. Смещение
4. Угол поворота

Задание 11

Как изменятся показания приборов в лабораторной работе №4, если образцы из стали (вместо алюминия).

• **Варианты ответов**

- 1 уменьшатся
- 2 увеличатся
- 3 не изменятся

Задание 12

Чему равна масса одной гири весом 10н.

• **Варианты ответов**

- 1 $\approx 10\text{кг}$
- 2 $\approx 1\text{кг}$
- 3 $\approx 1\text{т}$
- 4 $\approx 5\text{кг}$

Задание 13

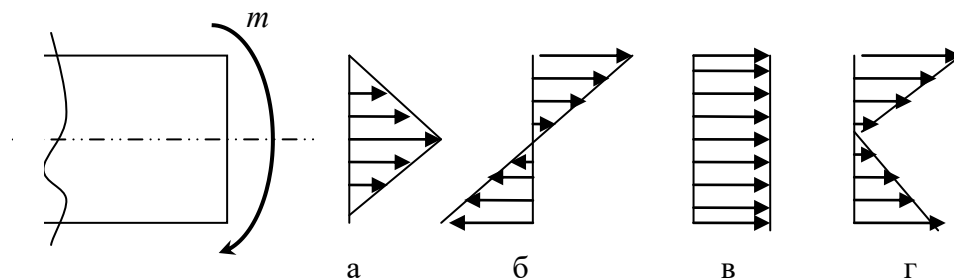
Какие свойства материала характеризует модуль E.

• **Варианты ответов**

- 1 Прочность
- 2 Твердость
- 3 Упругость
- 4 Устойчивость

Задание 14

Как распределены нормальные напряжения при изгибе



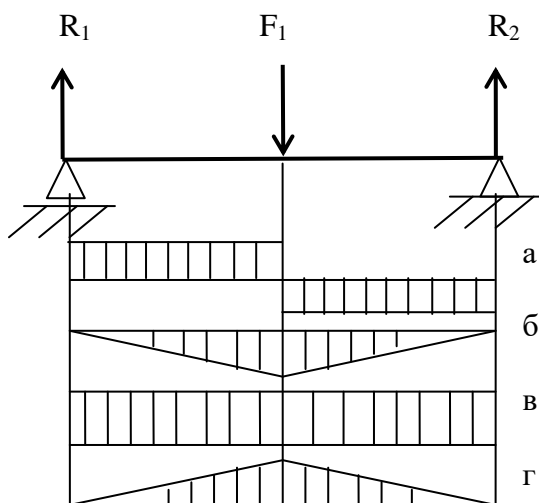
• **Варианты ответов**

1. а
2. б
3. в

4. В

Задание 15

Выбрать эпюру поперечных сил, соответствующую схеме нагружения

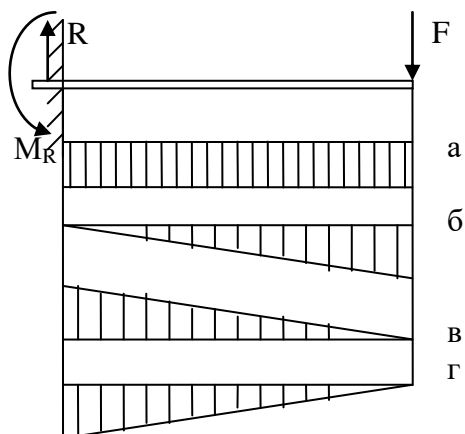


• **Варианты ответов**

- 1 а
- 2 б
- 3 в
- 4 г

Задание 16

Выбрать эпюру поперечных сил, соответствующую схеме нагружения

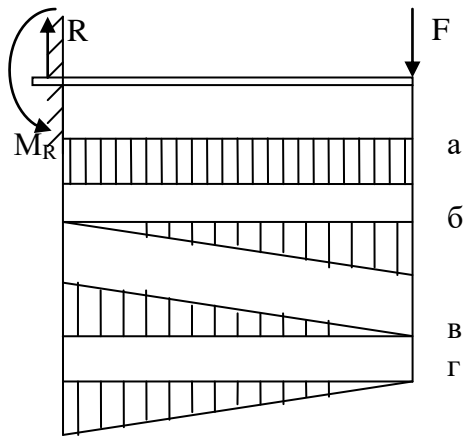


• **Варианты ответов**

- 1 а
- 2 б
- 3 в
- 4 в

Задание 17

Выбрать эпюру изгибающих моментов, соответствующую схеме нагружения



• **Варианты ответов**

- 1 а
- 2 б
- 3 в
- 4 г

Задание 18

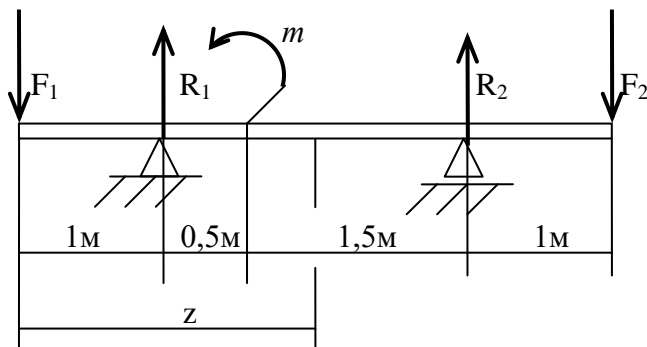
Выбрать точную формулу условия прочности при изгибе

• **Варианты ответов**

1. $\sigma = \frac{M_x}{W_x} \leq [\sigma]$
2. $\tau = \frac{Q}{A} \leq [\tau]$
3. $\tau = \frac{M_z}{W_p} \leq [\tau]$
4. $\sigma = \frac{F}{A} \leq [\sigma]$

Задание 19

Выбрать формулу для расчета изгибающего момента в сечении $z=2m$

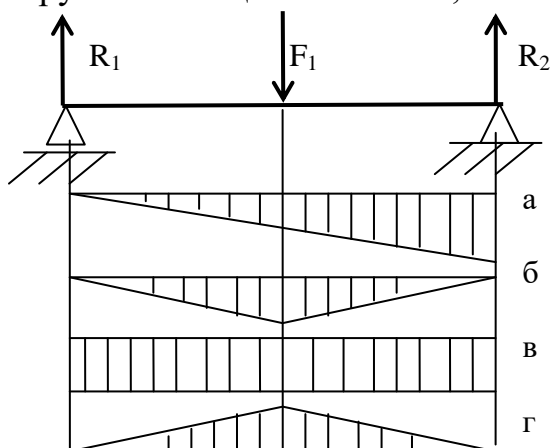


• **Варианты ответов**

1. $M_u = F \cdot 2 - R_1 \cdot l + m$
2. $M_u = -F \cdot 2 + R_1 \cdot l - m$
3. $M_u = -F \cdot 2 + R_1 \cdot l$
4. $M_u = F \cdot 2 + R_1 \cdot l + m$

Задание 20

Выбрать эпюру изгибающих моментов, соответствующую схеме нагружения

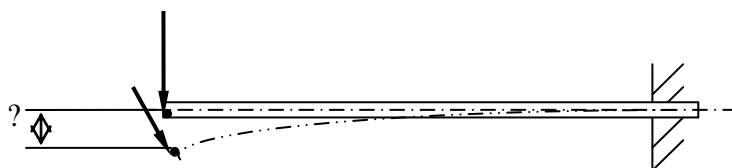


- **Варианты ответов**

- 1 а
- 2 б
- 3 в
- 4 г

Задание 21

Как называют и обозначают вертикальное перемещение при изгибе?



- **Варианты ответов**

1. Прогиб f
2. Сдвиг γ
3. Смещение δ
4. Угол поворота θ

Задание 22

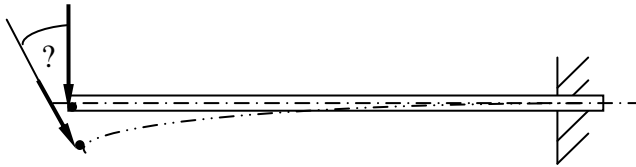
Что замерили в лабораторной работе №4.

- **Варианты ответов**

- 1 Прогиб f
- 2 Сдвиг γ
- 3 Смещение δ
- 4 Поворот θ
- 5

Задание 23

Как называют и обозначают угловое перемещение при изгибе?



- **Варианты ответов**
 - 1 Прогиб f
 - 2 Угол сдвига γ
 - 3 Смещение δ
 - 4 Угол поворота θ

Задание 24

Сколько весит гиря, массой 1 кг

- **Варианты ответов**
 - 1 10 Н
 - 2 $\approx 1\text{ Н}$
 - 3 $\approx 1\text{ кН}$
 - 4 $\approx 10\text{ кН}$

Задание 25

При увеличении длины балки прогиб...

- **Варианты ответов**
 - 1 уменьшится
 - 2 увеличится
 - 3 не изменится

Задание 26

Для чего в лабораторной работе делают предварительное нагружение?

- **Варианты ответов**
 - 1 Для обжатия образца
 - 2 Для проверки чувствительности индикатора ЧТ
 - 3 Для обжатия образца и проверки чувствительности прибора