

Методические указания к лабораторной работе

«Изучение упругих свойств твердых тел»

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

«Изучение упругих свойств твердых тел»

Цель работы:

Определить характеристики упругости стали и дерева по их деформации на растяжение и изгиб;

Определить зависимости прогиба прямоугольных конструкций от геометрических размеров образца.

ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ

Все реальные тела под действием внешних сил деформируются, т.е. изменяют свою форму и размеры. Различаются деформации растяжения (сжатия), сдвига, изгиба, кручения и более сложные виды деформации, которые всегда можно свести к двум: растяжение (сжатие) и сдвиг.

Если деформации исчезают после прекращения действия приложенных сил, то они называются упругими. Деформации, частично сохраняющиеся после снятия нагрузки, называются неупругими или пластическими. В настоящей работе рассматриваются только процессы, протекающие в материале при упругих деформациях.

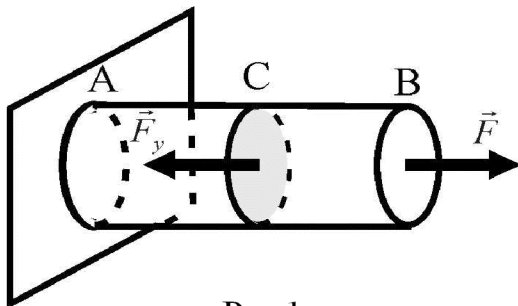


Рис. 1

Рассмотрим деформацию растяжения однородного круглого стержня АВ длиной l_0 , один конец которого жестко закреплен. Если к другому концу стержня приложить силу \vec{F} (рис. 1), его длина станет l . В качестве меры деформации растяжения служит абсолютное

удлинение

$$x = \Delta l = l - l_0 \quad (1)$$

и относительное удлинение

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{x}{l_0}. \quad (2)$$

Опыт показывает, что при деформации растяжения или сжатия изменяются также и поперечные размеры стержня. Пусть d_0 и d – диаметры стержня до и после деформации растяжения. При деформации растяжения диаметр стержня уменьшается, т.е. $d < d_0$. Величина

$$\delta = -\frac{\Delta d}{d_0} = \frac{d_0 - d}{d_0} \quad (3)$$

называется относительным поперечным сжатием стержня. Относительное изменение объема стержня

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{Sl - S_0 l_0}{S_0 l_0} = \frac{d^2 l}{d_0^2 l_0} - 1 = (1 - \delta)^2 (1 + \varepsilon) - 1 \approx \varepsilon - 2\delta, \quad (4)$$

так как ε и δ много меньше единицы, и их произведениями можно пренебречь.

Величина, равная отношению относительного поперечного сжатия к соответствующему относительному продольному удлинению называется коэффициентом Пуассона:

$$\mu = \frac{\delta}{\varepsilon}. \quad (5)$$

Коэффициент Пуассона μ зависит только от материала тела и является одной из важных характеристик его упругих свойств.

Выделим мысленно в стержне некоторое поперечное сечение S площадью S . Часть BC стержня находится в равновесии. Следовательно, в выделенном сечении со стороны другой части стержня AC действует упругая сила \vec{F}_y , равная по модулю внешней силе. Поскольку положение сечения S выбрано произвольно, то это значит, что упругая сила, действующая в любом поперечном сечении стержня равна по модулю внешней силе.

Для характеристики деформированного состояния стержня вводят понятие нормального напряжения, которое численно равно упругой силе, действующей на единицу площади сечения, перпендикулярного силе.

$$\sigma = \frac{F_y}{S}, \quad (6)$$

где dF_y – упругая сила, перпендикулярная элементарной площадке dS , в пределах которой деформацию можно считать однородной.

Отметим, что *сила упругости направлена противоположно направлению абсолютного удлинения*. При однородной деформации нормальное напряжение одинаково в любой точке поперечного сечения стержня.

Как показывает опыт, при малых деформациях между нормальным напряжением и относительным удлинением существует прямая пропорциональная зависимость

$$\sigma = E\varepsilon. \quad (7)$$

Коэффициент пропорциональности E характеризует упругие свойства вещества и называется модулем продольной упругости или модулем Юнга. Модуль продольной упругости численно равен нормальному напряжению, которое возникает в теле при его относительном удлинении, равном единице, т.е. при увеличении длины стержня в два раза. Формула (7) выражает закон Гука, который формулируется следующим образом: *в пределах упругости напряжение, возникающее в теле, прямо пропорционально относительной деформации*.

Модуль Юнга E и коэффициент Пуассона μ полностью характеризуют упругие свойства изотропного вещества. Все остальные упругие постоянные могут быть выражены через E и μ .

Из (2), (6) и (7) следует, что при однородной деформации растяжения модуль силы упругости

$$F_y = S\sigma = SE\varepsilon = \frac{ES}{l_0}x$$

или

$$F_y = kx, \quad (8)$$

где k – коэффициент упругости стержня, определяемый как

$$k = \frac{ES}{l_0} \quad (9)$$

Следует отметить, что закон Гука выполняется только на начальных стадиях деформации. Для каждого материала существует критическое нормальное напряжение, называемое **пределом пропорциональности** [], превышение которого приводит к тому, что деформация еще может считаться упругой (остаточная деформация образцов не превышает 5%), но закон Гука уже не выполняется.

Рассмотрим возможности расчетов характеристик упругих свойств материалов на примере двух наиболее часто встречающихся на практике типов деформации: деформации растяжения и деформации изгиба.

1. Деформация растяжения. Пусть проволока диаметром поперечного сечения d , начальной длины l_0 , изготовленная из исследуемого материала, растягивается под действием груза массой m . При этом в материале возникают силы упругости, определяемые по закону Гука (рис.2).

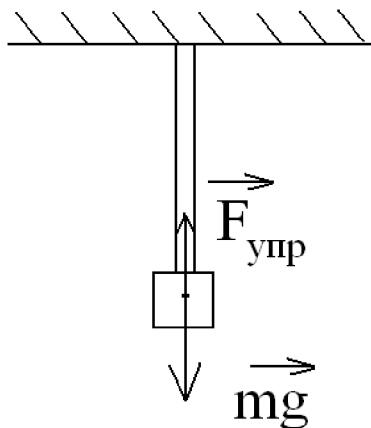


Рис.2

Согласно условию статического равновесия

$$mg = k\Delta l$$

Учитывая (9), получим

$$mg = \frac{ES}{l_0} \Delta l \quad (10)$$

Поперечное сечение стержня на практике удобно рассчитывать по измеренному микрометром диаметру проволоки d

$$S = \frac{\pi d^2}{4}$$

Равенство (10) в этом случае можно представить в виде

$$mg = \frac{E\pi d^2}{4l_0} \Delta l,$$

откуда

$$\Delta l = \frac{4l_0 g}{\pi d^2 E} m = \alpha m \quad (11)$$

где коэффициент пропорциональности α – практически постоянная для данного образца величина.

Если, изменяя массу груза m , каждый раз измерять абсолютное удлинение проволоки Δl и построить график $\Delta l = f(m)$, то можно убедиться в справедливости закона Гука. По наклону графика $\Delta(\Delta l)/\Delta m$ легко определить коэффициент пропорциональности α в (11) и рассчитать модуль продольной упругости (модуль Юнга) проволоки:

$$E = \frac{4l_0 g}{\pi d^2 \alpha}. \quad (12)$$

Для уменьшения погрешности интервал нагрузок Δm и соответствующий ему интервал абсолютных удлинений $\Delta(\Delta l)$ на графике следует выбирать по возможности большими (но в пределах пропорциональности).

2. Деформация изгиба.

Если прямоугольный брусок свободно положить на две опоры A и B и на его середину подействовать силой $F = mg$, то брусок изогнется (рис. 9). Деформация изгиба характеризуется стрелой прогиба h .

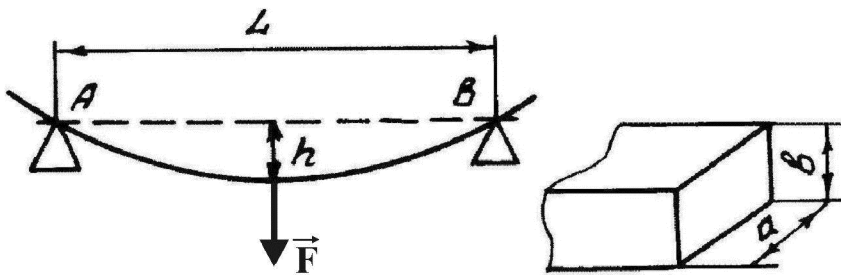


Рис. 3

В силу объемности вывод формулы, позволяющей определить стрелу прогиба балки в настоящих указаниях не приводится, но, согласно расчетам авторов [], итоговая формула имеет вид:

$$h = \frac{L^3 g}{4ab^3 E} m = \beta m, \quad (13)$$

где L - расстояние между опорами; a - ширина бруска; b - его высота; E – модуль продольной упругости (модуль Юнга) материала бруска, m – масса груза, создающего добавочную силу давления F (рис. 3) на середину бруска. Коэффициент пропорциональности β для данного образца - практически постоянная величина.

Если изменять массу груза m , то изменяется и стрела прогиба h . Построив график $h = h(m)$, можно убедиться в справедливости закона Гука. По наклону графика $\Delta h/\Delta m$ легко определить коэффициент

пропорциональности β в (13) и рассчитать модуль продольной упругости прямоугольного бруска:

$$E = \frac{L^3 g}{4ab^3 \beta}. \quad (14)$$

Для уменьшения погрешности интервал нагрузок Δm и соответствующий ему интервал стрелы прогиба Δh на графике следует выбирать по возможности большим (но в пределах пропорциональности).

ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

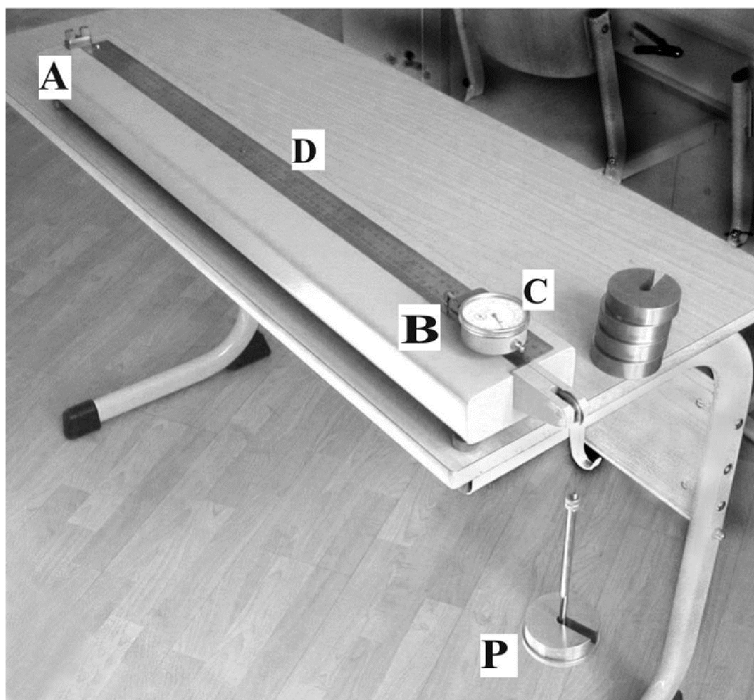


Рис.4

Общий вид установки для изучения упругих свойств проволоки при деформации растяжения показан на рисунке 4. Стальная проволока AB растягивается под действием переменных грузов P . Первоначальная длина проволоки l_0 измеряется линейкой D , ее диаметр d - микрометром, абсолютное удлинение Δl - индикатором C .

В работе используется индикатор часового типа (рис. 5) модель ИЧ 10, класс точности 1, с ценой деления 0,01 мм. Он имеет абсолютную погрешность $\Delta(\Delta l)_u = 0,020$ мм.

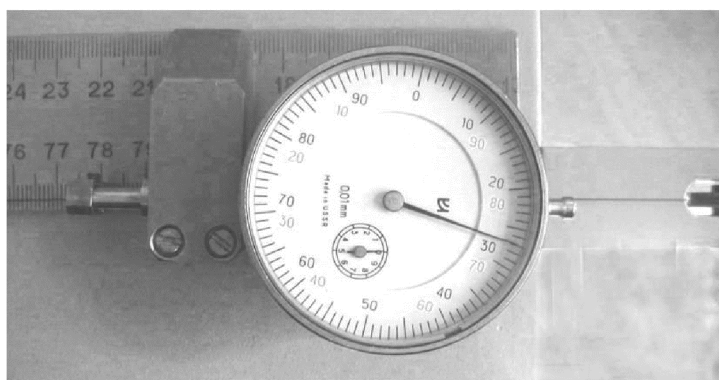


Рис.5

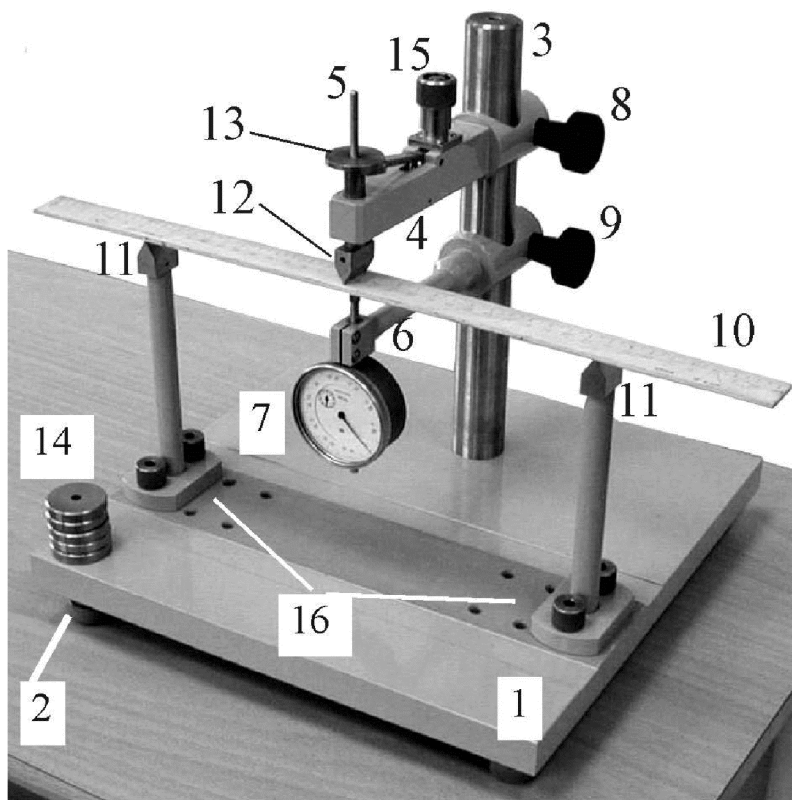


Рис.6

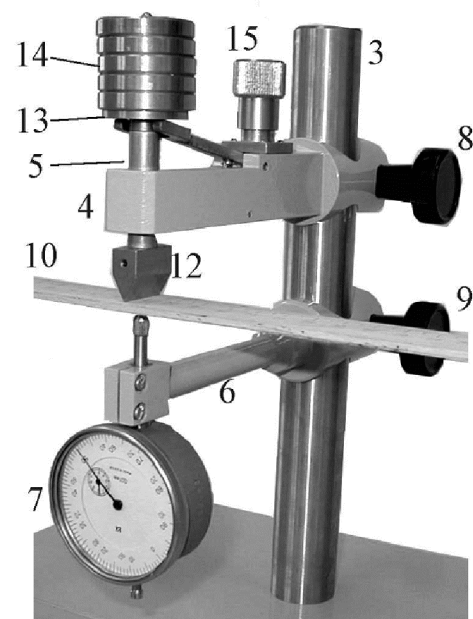


Рис.7

Общий вид установки для определения упругих свойств материалов при деформации изгиба показан на рисунке 6, ее рабочая часть крупным планом – на рисунке 7. Основание 1 оснащено регулируемыми ножками 2, которые позволяют производить выравнивание прибора. В основании закреплена колонка 3, вдоль которой можно перемещать верхний кронштейн 4 со стержнем 5 и нижний кронштейн 6 с индикатором часового типа 7. Кронштейны зафиксированы на колонке с помощью винтов 8 и 9. Исследуемый образец (деревянный брусок) 10 располагается на опорах 11. На нижнем конце стержня 5 закреплена треугольная призма 12, а сверху – платформа 13, на которую помещают грузы 14. Положение стержня в кронштейне 4 регулируется винтом 15.

Прогиб бруска осуществляется с помощью призмы 12, добавочная сила давления которой на брусок равна силе тяжести грузов, положенных на платформу. Расстояние между опорами можно изменять. Каждая из них может быть установлена на основании в одном из трех гнезд 16

Перемещая кронштейны 4 и 6 необходимо установить их так, чтобы призма 12 и измерительный штифт индикатора часового типа касались бруска. Установив нулевое значение шкалы индикатора и помещая на платформу 13 грузы, измеряют стрелу прогиба бруска с помощью индикатора часового типа.

В работе используется индикатор часового типа (рис. 5) модель ИЧ 10, класс точности 1, с ценой деления 0,01 мм. Он имеет абсолютную погрешность $\Delta(\Delta l)_u = 0,020$ мм.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Задание 1. .Определение модуля Юнга проволоки по деформации растяжения.

1. **Оборудование и принадлежности:** установка для проведения измерений, набор грузов, линейка, микрометр. Получить вариант задания у преподавателя.
2. Измерить начальную длину свободной проволоки L_0 и ее диаметр d .
3. Подготовить к измерениям прибор. Установив стрелку часового индикатора С (рис. 5) на 0.
4. Установить первый перегрузок массой m на платформу Р (рис.4).
5. По индикатору С измерить приращение длины ΔL и записать показания в таблицу 1 в графу «При увеличении нагрузки».
6. Повторить измерения согласно пунктам 2-4, добавляя последовательно все имеющиеся перегрузки.
7. Последовательно убирая перегрузки повторить измерения пп. 2 и 4, записывая показания в таблицу 1 в графу «При уменьшении нагрузки»
8. Построить графики зависимостей $\Delta L = f(m)$ для двух случаев на одной координатной сетке.
9. По углу наклона графика определить для обеих ветвей константу α , учитывая, что

$$\alpha = \frac{\Delta(\Delta L)}{\Delta m} \quad (15)$$

10. Рассчитать по (12) модуль Юнга продольной упругости проволоки и заполнить таблицу 1.
11. Рассчитать среднее значение модуля Юнга и занести данные в таблицу 1.
12. Определить погрешности произведенных прямых и косвенных измерений согласно приложения 1.
13. Сделать заключение о соответствии полученных результатов справочным табличным значениям модуля Юнга и пояснить причину возможных расхождений.

Таблица 1

Результаты измерений и расчетов для определения модуля продольной упругости проволоки.

$L_0 =$ _____ м		$d =$ _____ м					
α_1 _____ м / кг		α_2 _____ м / кг					
№ п/п	m, кг	$\Delta L \cdot 10^3, \text{м}$		E, Па		$E_{\text{ср}}, \text{Па}$	$E_{\text{табл}}, \text{Па}$
		При увеличении нагрузки	При уменьшении нагрузки	E_{\uparrow}	E_{\downarrow}		
1.	0	0					
2.	m_1						
3.	m_2						
...					

Задание 2. Определение модуля продольной упругости дерева по деформации изгиба.

Оборудование и принадлежности: установка для проведения измерений, набор брусков и грузов, линейка.

1. Получить вариант задания у преподавателя.
2. Установить опоры на максимальное расстояние друг от друга.
3. Провести измерения размеров a и b образца, указанного преподавателем, расстояния между опорными призмами L и стрелы прогиба h_0 при минимальной массе груза m .
4. Установить образец № 1 на опоры.
5. Подготовить к измерениям прибор. Установив стрелку часового индикатора C (рис. 5) на 0.
6. Установить на платформу 13 (рис.6) первый перегрузок массой m .
7. Записать значения стрелы прогиба h по индикатору 7 (рис.6) в таблицу 2 (графа «При увеличении нагрузки»).
8. Постепенно увеличивая количество перегрузков на платформе, провести измерения стрелы прогиба, записывая показания в таблицу 2.
9. Провести измерения аналогично п.7 при постепенном уменьшении нагрузки на платформе и записать показания в соответствующую графу таблицы 2.
10. По данным таблицы 2 построить графики зависимости $h = f(m)$ для двух случаев на одной координатной сетке.
11. По углу наклона графиков оценить для обеих ветвей константу α , учитывая, что

$$\beta = \frac{\Delta h}{\Delta m} \quad (16)$$

12. Рассчитать модуль Юнга по формуле (14), используя данные, полученные при расчете по (16).
13. Рассчитать среднее значение модуля Юнга и занести данные в таблицу 2.
14. Определить погрешности произведенных прямых и косвенных измерений согласно приложения 1.
15. Сделать заключение о соответствии полученных результатов справочным табличным значениям модуля Юнга и пояснить причину возможных расхождений.

Таблица 2

Результаты измерений и расчетов для определения модуля продольной упругости дерева по деформации на изгиб.

L = _____ м,		a = _____ м,		b = _____ м,		h ₀ = _____ м	
β ₁ _____ м / кг		β ₂ _____ м / кг					
№ п/п	m, кг	h · 10 ³ , м		E, Па		E _{ср} , Па	E _{табл} , Па
		При увеличении нагрузки	При уменьшении нагрузки	E _↑	E _↓		

1.	0	0					
2.	m_1						
3.	m_2						
...					

Задание 3. Определение зависимости стрелы прогиба от расстояния между опорными призмами.

Оборудование и принадлежности: установка для проведения измерений, набор брусков и грузов, линейка.

1. Получить вариант задания у преподавателя.
2. Установить опоры на максимальное расстояние друг от друга.
3. Провести измерения размеров a и b образца, указанного преподавателем, расстояния между опорными призмами L . Результаты измерений занести в таблицу 3.
4. Установить образец № 1 на опоры.
5. Подготовить к измерениям прибор. Установив стрелку часового индикатора С (рис. 5) на 0.
6. Установить на платформу 13 (рис.6) первый перегрузок массой m .
7. Записать значения стрелы прогиба h по индикатору 7 (рис.6) в таблицу 3 (графа «Для одного образца»).
8. Постепенно увеличивая количество перегрузков на платформе, провести измерения стрелы прогиба, записывая показания в таблицу 3.
9. Снять образец №1 с опорных призм, установить между опорами следующее расстояние согласно варианта задания.
10. Вновь установить образец №1 на опорные призмы, **соблюдая при этом симметрию.**
11. Провести измерения аналогично п.п.5-8 и записать показания в соответствующую графу таблицы 3.
12. Снять образец №1 с опорных призм и установить на них образец №2, длина которого L совпадает с расстоянием между призмами.
13. Провести измерения аналогично п.п.5-8 и записать показания в соответствующую графу таблицы 3 «Для разных образцов».
14. Провести действия аналогичные пп. 9-10 и вновь провести измерения согласно пп.5-8.
15. Провести действия аналогичные пп.12-13 для образца № 3.
16. Провести необходимые расчеты и заполнить таблицу 4.
17. Построить графики зависимости $h = f(m)$ (рекомендуется для одного и того же L зависимость для одного и для разных образцов размещать на одной координатной сетке).
18. В заключении к работе сделать вывод
 - о зависимости стрелы прогиба и упругих свойств материала от длины образца для одного образца и для разных образцов;

- о справедливости теоретически полученной [] зависимости $\frac{h_1}{h_2} = \frac{L_2^3}{L_1^3}$ для одного образца и для разных образцов.

Таблица 3

Результаты измерений зависимости стрелы прогиба образца от массы нагружения для образцов различной длины

L, м	a м, b		м	
	Для одного образца		Для разных образцов	
	м, кг	h · 10 ³ , м	м, кг	h · 10 ³ , м
L ₁	m ₁	h ₁₁	m ₁	h ₁₁
	m ₂	h ₁₂	m ₂	h ₁₂
	m ₃	h ₁₃	m ₃	h ₁₃
L ₂	m ₁	h ₂₁	m ₁	h ₂₁
	m ₂	h ₂₂	m ₂	h ₂₂
	m ₃	h ₂₃	m ₃	h ₂₃
L ₃	m ₁	h ₃₁	m ₁	h ₃₁
	m ₂	h ₃₂	m ₂	h ₃₂
	m ₃	h ₃₃	m ₃	h ₃₃

Таблица 4

Расчеты для проверки зависимости стрелы прогиба образца от его длины

Для одного образца			Для разных образцов		
м, кг	$\frac{h_{ij}}{h_{ji}}$	$\frac{L_j^3}{L_i^3}$	м, кг	$\frac{h_{ii}}{h_{ji}}$	$\frac{L_j^3}{L_i^3}$
m ₁	$\frac{h_{11}}{h_{21}}$	$\frac{L_2^3}{L_1^3}$	m ₁	$\frac{h_{11}}{h_{21}}$	$\frac{L_2^3}{L_1^3}$
	$\frac{h_{21}}{h_{31}}$	$\frac{L_3^3}{L_2^3}$		$\frac{h_{21}}{h_{31}}$	$\frac{L_3^3}{L_2^3}$
m ₂	$\frac{h_{12}}{h_{22}}$	$\frac{L_2^3}{L_1^3}$	m ₂	$\frac{h_{12}}{h_{22}}$	$\frac{L_2^3}{L_1^3}$
	$\frac{h_{22}}{h_{32}}$	$\frac{L_3^3}{L_2^3}$		$\frac{h_{22}}{h_{32}}$	$\frac{L_3^3}{L_2^3}$
m ₃	$\frac{h_{13}}{h_{23}}$	$\frac{L_2^3}{L_1^3}$	m ₃	$\frac{h_{13}}{h_{23}}$	$\frac{L_2^3}{L_1^3}$
	$\frac{h_{23}}{h_{33}}$	$\frac{L_3^3}{L_2^3}$		$\frac{h_{23}}{h_{33}}$	$\frac{L_3^3}{L_2^3}$

Задание 4. Определение зависимости стрелы прогиба от ширины для брусков одинаковой толщины b и длины L .

Оборудование и принадлежности: установка для проведения измерений, набор брусков и грузов, линейка.

1. Получить вариант задания у преподавателя.
2. Установить опоры на заданное расстояние друг от друга.
3. Провести измерения a и b образцов, указанного преподавателем, расстояния между опорными призмами L .
4. Установить образец № 1 на опоры.
5. Подготовить к измерениям прибор. Установив стрелку часового индикатора C (рис. 5) на 0.
6. Установить на платформу 13 (рис.6) первый перегрузок массой m .
7. Записать значения стрелы прогиба h по индикатору 7 (рис.6) в таблицу 5.
8. Постепенно увеличивая количество перегрузков на платформе, провести измерения стрелы прогиба, записывая показания в таблицу 5.
9. Снять образец №1 с опорных призм, установить между опорами следующее расстояние согласно варианту задания.
10. Установить образец № 2 на опоры.
11. Провести измерения аналогично п.п.5-8 и записать показания в соответствующую графу таблицы 5.
12. Снять образец №2 с опорных призм и установить на них образец №3.
13. Провести измерения аналогично п.п.5-8 и записать показания в соответствующую графу таблицы 5.
14. Провести необходимые расчеты и заполнить таблицу 5.
15. В заключении к работе сделать вывод

- о зависимости стрелы прогиба от ширины образца;

- о справедливости теоретически полученной [] зависимости $\frac{h_1}{h_2} = \frac{a_2}{a_1}$ для

брусков одинаковой толщины b и длины L .

Таблица 5

Результаты измерений и расчетов для проверки зависимости стрелы прогиба образца от его ширины

№ образца	b а, м	L			M			m		
		m ₁ , кг			m ₂ , кг			m ₃ , кг		
		h · 10 ³ , м	$\frac{h_i}{h_j}$	$\frac{a_j}{a_i}$	h · 10 ³ , м	$\frac{h_i}{h_j}$	$\frac{a_j}{a_i}$	h · 10 ³ , м	$\frac{h_i}{h_j}$	$\frac{a_j}{a_i}$
№1		h ₁	$\frac{h_1}{h_2}$	$\frac{a_2}{a_1}$	h ₁	$\frac{h_1}{h_2}$	$\frac{a_2}{a_1}$	h ₁	$\frac{h_1}{h_2}$	$\frac{a_2}{a_1}$
№2		h ₂	$\frac{h_2}{h_3}$	$\frac{a_3}{a_2}$	h ₂	$\frac{h_2}{h_3}$	$\frac{a_3}{a_2}$	h ₂	$\frac{h_2}{h_3}$	$\frac{a_3}{a_2}$
№3		h ₃	-	-	h ₃	-	-	h ₃	-	-

Задание 5. Определение зависимости стрелы прогиба от толщины для брусков одинаковой ширины a и длины L .

Оборудование и принадлежности: установка для проведения измерений, набор брусков и грузов, линейка.

Получить вариант задания у преподавателя.

1. Установить опоры на заданное расстояние друг от друга.
2. Провести измерения a и b образцов, указанного преподавателем, расстояния между опорными призмами L .
3. Установить образец № 1 на опоры.
4. Подготовить к измерениям прибор. Установив стрелку часового индикатора C (рис. 5) на 0.
5. Установить на платформу 13 (рис.6) первый перегрузок массой m .
6. Записать значения стрелы прогиба h по индикатору 7 (рис.6) в таблицу 6.
7. Постепенно увеличивая количество перегрузков на платформе, провести измерения стрелы прогиба, записывая показания в таблицу 6.
8. Снять образец №1 с опорных призм, установить между опорами следующее расстояние согласно варианту задания.
9. Установить образец № 2 на опоры.
10. Провести измерения аналогично п.п.5-8 и записать показания в соответствующую графу таблицы 6.
11. Снять образец №2 с опорных призм и установить на них образец №3.
12. Провести измерения аналогично п.п.5-8 и записать показания в соответствующую графу таблицы 6.
13. Провести необходимые расчеты и заполнить таблицу 6.
14. В заключении к работе сделать вывод

- о зависимости стрелы прогиба от толщины образца;

- о справедливости теоретически полученной [] зависимости $\frac{h_1}{h_2} = \frac{b_2^2}{b_1^2}$ для

брусков одинаковой ширины a и длины L .

Таблица 6

Результаты измерений и расчетов для проверки зависимости стрелы прогиба образца от его толщины

№ образца	b, м	m ₁ , кг			m ₂ , кг			m ₃ , кг		
		$h \cdot 10^3$, м	$\frac{h_i}{h_j}$	$\frac{b_j^2}{b_i^2}$	$h \cdot 10^3$, м	$\frac{h_i}{h_j}$	$\frac{a_j}{a_i}$	$h \cdot 10^3$, м	$\frac{h_i}{h_j}$	$\frac{a_j}{a_i}$
№1		h_1	$\frac{h_1}{h_2}$	$\frac{b_2^2}{b_1^2}$	h_1	$\frac{h_1}{h_2}$	$\frac{b_2^2}{b_1^2}$	h_1	$\frac{h_1}{h_2}$	$\frac{b_2^2}{b_1^2}$
№2		h_2	$\frac{h_2}{h_3}$	$\frac{b_3^2}{b_2^2}$	h_2	$\frac{h_2}{h_3}$	$\frac{b_3^2}{b_2^2}$	h_2	$\frac{h_2}{h_3}$	$\frac{b_3^2}{b_2^2}$
№3		h_3	-	-	h_3	-	-	h_3	-	-

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Сформулируйте закон Гука для изучаемой деформации. Исходя из каких соображений подбираются внешние нагрузки для проверки закона Гука?
2. Как определяется нормальное напряжение стержня с косым срезом торца, если внешняя сила направлена вдоль оси стержня?
3. Каков физический смысл модуля Юнга? От чего зависит эта величина?
4. Опишите зависимость σ от ε при растяжении стержня.
5. Какова связь коэффициента Пуассона и относительного удлинения стержня?
6. Получите выражение для объемной плотности энергии упругих продольных деформаций стержня.
7. Опишите петлю гистерезиса при продольных деформациях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кембровский Г.С. Приближенные вычисления и методы обработки результатов измерений в физике. -Минск: Изд-во "Университетское", 1990.
2. Матвеев А.Н. Механика и теория относительности. -М.: Высшая школа, 1986.
3. Петровский И.И. Механика. -Минск: Изд-во БГУ, 1973.
4. Савельев И.В. Курс общей физики. -М.: Наука, 1982. Т. 1. Механика. Молекулярная физика.
5. Сивухин Д.В. Общий курс физики. М.: Наука, 1989 Т. 1. Механика.
6. Стрелков С.П. Механика. -М.: Наука,
7. Физический практикум. Под ред. Кембровского Г.С. -Минск: Изд-во "Университетское", 1986.