

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ**  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

---

УТВЕРЖДАЮ

Декан ЕНМФ

\_\_\_\_\_ Ю.И. Тюрин

«        » \_\_\_\_\_ 2007 г.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ ЮНГА ИЗ ИЗГИБА**

Методические указания к выполнению лабораторных работ М–04  
по курсу общей физики для студентов всех специальностей

Томск 2007

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА М-04 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ ЮНГА ИЗ ИЗГИБА

**Цель работы:** определение модуль Юнга по деформации изгиба для различных материалов.

**Приборы и принадлежности:** прибор для определения модуля Юнга, грузы, 2 стержня, масштабная линейка, микрометр или штангенциркуль.

### ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Деформация – это изменение объема или формы тела без изменения его массы под действием внешней силы. Все возможные виды деформации могут быть сведены к двум основным деформациям: растяжению (или сжатию) и сдвигу, называемым элементарными деформациями. Деформации изгиба и кручения принадлежат к числу сложных деформаций. Их можно представить как сочетание элементарных деформаций, происходящих одновременно.

При деформации растяжения образец удлиняется под действием растягивающей силы  $F_{\text{раст}}$ . Величина удлинения  $\Delta l$  зависит от упругости вещества, из которого изготовлен данный образец. На основании закона

$$\text{Гука: } F_{\text{раст}} = k_{\text{раст}} \Delta l, \quad k_{\text{раст}} = \frac{1}{\alpha} \frac{S}{l} \quad \text{или} \\ \Delta l = \alpha \frac{F_{\text{раст}}}{S} l, \quad (1)$$

где  $\Delta l$  – удлинение образца,  $l$  – его начальная длина,  $F_{\text{раст}}$  – сила, вызывающая удлинение,  $S$  – площадь поперечного сечения образца, и  $k_{\text{раст}}$  – коэффициент жесткости к растяжению,  $\alpha$  – коэффициент упругости материала образца. Величину, обратную коэффициенту упругости  $\alpha$ ; называют модулем Юнга:

$$E = \frac{1}{\alpha}.$$

При деформации растяжения модуль Юнга вычисляется по следующей формуле из (1).

$$E = \frac{F_{\text{раст}}}{S} \frac{l}{\Delta l}. \quad (2)$$

Из формулы (2) следует физический смысл модуля Юнга. Модуль Юнга, это физическая величина, численно равная силе которую нужно приложить к единице площади поперечного сечения образца, чтобы получить изменение длины образца, равное первоначальной длине ( $\Delta l = l$ ).

Деформация изгиба имеет место, например, в стержне, концы которого жестко закреплены (рис. 1), а к его середине приложена сила  $f$ , перпендикулярная оси стержня.

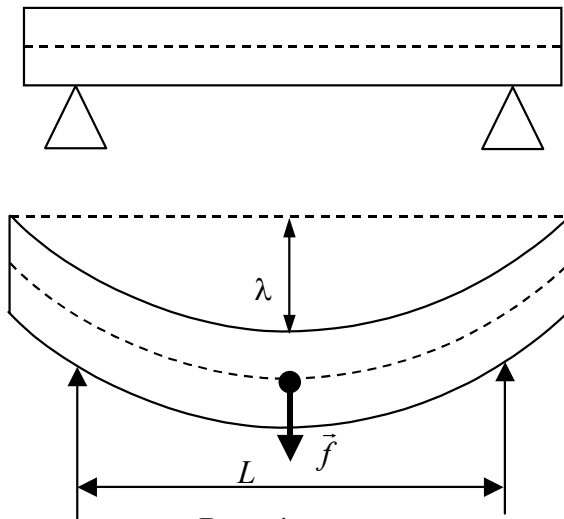


Рис. 1

Под действием силы  $f$  верхние слои изогнутого стержня оказываются сжатыми, а нижние – растянутыми. Средний слой оказывается нейтральным, так как он своей длины не изменяет, а только претерпит искривление. Изгиб стержня характеризуется стрелой изгиба (прогиба)  $\lambda$ , т.е. тем расстоянием, на которое перемещается точка стержня, к которой приложена изгибающая сила.

При малых деформациях выполняется закон Гука, который можно записать  $f = k_{изг} \lambda$ , где  $k_{изг}$  –

коэффициент жесткости изгиба. Коэффициент жесткости изгиба для цилиндрического стержня в случае, когда сила приложена к середине стержня, а силой тяжести стержня можно пренебречь равен:

$$k_{изг} = E \frac{3\pi d^4}{4L^3},$$

тогда

$$E = \frac{4L^3 f}{3\pi d^4 \lambda}, \quad (3)$$

где  $L$  – расстояние между опорами,  $E$  – модуль Юнга материала стержня,  $f$  – изгибающая сила,  $d$  – диаметр стержня,  $\lambda$  – стрела прогиба.

Обозначив  $\frac{f}{\lambda} = k$ , формулу (3) преобразуем к виду:

$$E = \frac{4L^3}{3\pi d^4} k. \quad (4)$$

## ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ

Станина (1) (рис. 2) состоит из основания с двумя стойками, на верхних концах которых имеются кольцевые стальные опорные призмы. На ребрах этих призм помещается испытуемый стержень (2). На середине стержня припаяно кольцо (3), которое при помощи подвески (6) соединено с платформой для гирь (4). Платформа (4) последовательно нагружается имеющимися в комплекте гирями, тем самым изменяется изгибающая сила, действующая на стержень. Стрела прогиба измеряется индикатором (5), который укреплен на специальной стойке. Большая шкала индикатора поворачивается при повороте корпуса прибора, что дает возможность установить нуль большой шкалы против большой стрелки индикатора. Малая шкала и малая стрелка служит для определения числа оборотов, совершаемых большой стрелкой индикатора. Цена каждого деления индикатора равна 0,01 мм/дел.

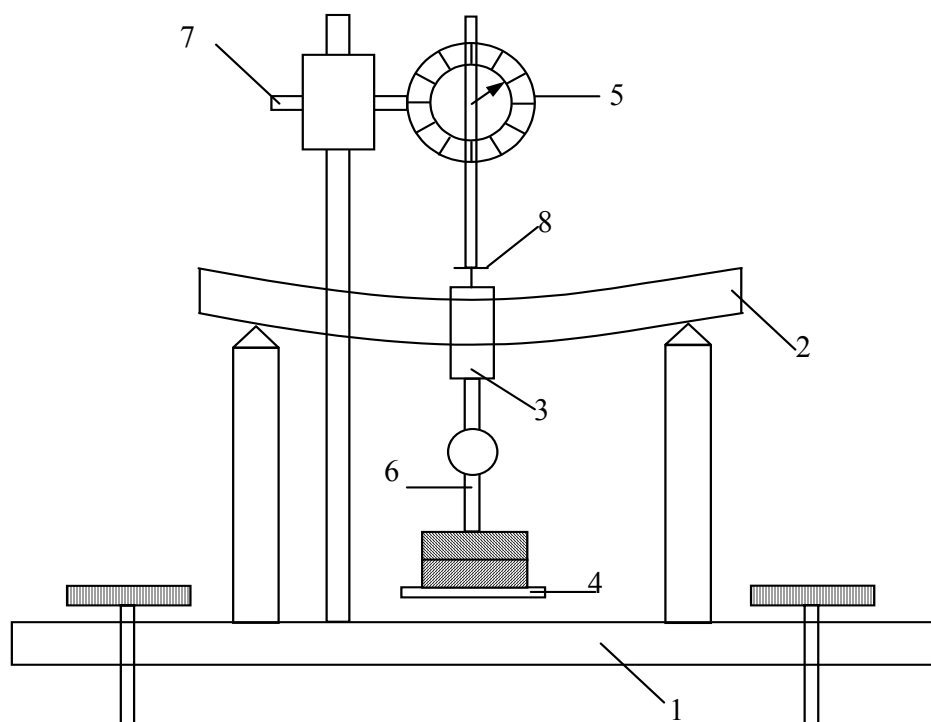


Рис. 2

Для измерения модуля Юнга необходимо прибор настроить, т.е. добиться такого взаимодействия между деталями прибора, чтобы величина стрелы прогиба изменялась пропорционально изменению величины изгибающей силы. Например, если одна гиря отклонит стрелку индикатора на 12 делений, то две такие гири должны отклонять стрелку индикатора на 24 деления, три гири – на 36 делений и т.д. Если же прибор не настроен, то пропорциональность между величиной стрелы прогиба и величиной изгибающей силы нарушится, а поэтому модуль Юнга будет определен не точно. Для настройки необходимо при помощи зажимного винта (7) (рис. 2) закрепить индикатор на такой высоте, чтобы малая стрелка указывала

деление «0». Дальнейшая настройка прибора осуществляется при помощи винта 8 (рис. 2).

Сначала проверьте, какова зависимость величины стрелы прогиба от величины изгибающей силы. Для этого необходимо платформу (4) (рис. 2) нагружать последовательно гирями (сначала одной, затем двумя и т.д.). Если между показаниями стрелки индикатора и весом гирь нет линейной зависимости, то необходимо несколько поднять или опустить шпindel индикатора путем поворота винта (8). После этого снова проверьте зависимость между показаниями стрелки индикатора и весом гирь, нагружаемых на платформу (4) (рис. 2). Если снова линейной зависимости нет, то опять используйте винт (8) и все снова повторите.

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Масштабной линейкой измерить  $L$  расстояние между левыми (или правыми) плоскостями кольцевых опорных призм.
2. Микрометром или штангенциркулем измерить диаметр  $d$  стержня. Это измерение несколько раз повторите в разных сечениях стержня. Найти среднее значение диаметра стержня.
3. Кольцо 3 установить посередине между стойками. Для этой цели использовать масштабную линейку.
4. Настроить прибор.
5. Повернуть корпус шкалы индикатора так, чтобы ноль оказался против стрелки. Записать в таблицу начальные показания индикатора.
6. Нагрузить платформу одной гирей (вес ее 0,5 кг). Показания стрелки индикатора записать в табл. 1 (колонка 2, нагрузка).
7. Прodelать подобные измерения при 2-х, 3-х и т.д. гирях на платформе занося значения  $\lambda$  в ту же колонку.
8. Затем платформу постепенно разгружать, снимая с нее по одной гире. Показания стрелки индикатора занести в табл. 1 (колонка 3, разгрузка)
9. Для увеличения точности измерений повторить 6, 7 и 8 упражнения занося значения  $\lambda$  в колонки 4 и 5 соответственно.
10. Сменить стержень и прodelать аналогичные измерения. Результаты измерений занести в табл. 2, аналогичную табл. 1.

Таблица 1

Длина стержня  $L =$

Диаметр стержня:

$d_1 =$

$d_2 =$

$d_3 =$

$d_4 =$

$d_5 =$

$d_{\text{сред}} =$

1	2	3	4	5	6	7	8	9
$f$ (кг)	$l_1$ (мм) нагрузка	$l_2$ (мм) разгрузка	$l_3$ (мм) нагрузка	$l_4$ (мм) разгрузка	$\lambda_{cp.}$ (мм)	$k = \frac{f}{\lambda}$ (Н/мм)	$k_{cp.}$ (Н/мм)	$E$ (Н/мм <sup>2</sup> )

## ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

1. На миллиметровой бумаге для обеих стержней построить графики зависимости стрелы прогиба  $\lambda$  от изгибающей силы  $f$ .
2. Вычислить  $k_{cp}$  для каждого стержня и по формуле (4) вычислить  $E_{cp}$ .
3. Вычислить относительные погрешности для модуля Юнга по формуле

$$\frac{\Delta \tilde{E}}{\tilde{E}_{cp}} = \sqrt{\left(\frac{3\Delta \tilde{L}}{\tilde{L}}\right)^2 + \left(\frac{4\Delta \tilde{d}}{\tilde{d}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta \tilde{k}}{\tilde{k}}\right)^2}.$$

4. Найти абсолютную погрешность модуля Юнга  $\Delta E$  и записать результат в виде  $\tilde{E}_{cp} \pm \Delta \tilde{E}$  для каждого стержня.
5. Сравнить полученные результаты с табличными значениями, сделать вывод.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каков физический смысл модуля Юнга?
2. Какие деформации испытывают различные слои стержня при изгибе?
3. Принцип работы индикатора.
4. Как настроить прибор для измерения модуля Юнга?
5. В каких случаях выполняется закон Гука?