



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
Кафедра «Строительная механика и теория сооружений»

**Практикум
по выполнению лабораторной
работы
по дисциплине
«Соппротивление материалов»
«Деформация балок при
плоском изгибе»
(Часть I)**

Автор
Еремин В.Д.

Ростов-на-Дону, 2024

Аннотация

Практикум предназначен для студентов всех форм обучения (очной, очно-заочной, заочной) технических направлений подготовки (специальностей), в частности, для студентов, обучающихся по направлениям 08.03.01 – Строительство; 07.03.01 – Архитектура; 07.03.02 – Реконструкция и реставрация архитектурного наследия; 07.03.04 – Градостроительство; 23.03.03 – Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов; 27.03.05 – Инноватика, 29.03.04 – Технология художественной обработки материалов и специальностям 08.05.01 – Строительство уникальных зданий и сооружений; 27.05.01 – Прикладная геодезия; 23.05.01 – Наземные транспортно-технологические средства.

Практикум содержит описание экспериментальной установки и испытываемых образцов, изложены порядок проведения и обработки результатов испытаний, основные теоретические положения и контрольные вопросы, необходимые для проведения учебно-исследовательской лабораторной работы «Деформация балок при плоском изгибе (Часть I)» по дисциплинам «Сопротивление материалов», «Специальные вопросы сопротивления материалов», «Основы сопротивления материалов с элементами теории упругости», «Механика» и «Строительная механика для архитекторов».

Сопротивление материалов

Настоящий практикум ставит своей задачей ознакомление студентов, изучающих общий курс сопротивления материалов, с вопросами экспериментального определения численных значений модуля упругости первого рода (E) для различных материалов, а также исследование зависимости деформации балки от типа его материала (модуля упругости первого рода).

Автор

Доцент, кандидат технических наук,
доцент кафедры «Строительная механика и теория
сооружений»

Еремин В.Д.

Оглавление

	Учебно-исследовательская лабораторная работа «деформация балок при плоском изгибе».....	5
1	Цель работы.....	5
2	Описание испытательной установки WP100.....	5
3	Испытываемые образцы.....	8
4	Описание эксперимента на изгиб.....	10
5	Основные теоретические положения.....	13
6	Порядок проведения испытаний.....	21
7	Основные правила техники безопасности.....	25
8	Контрольные вопросы.....	25
9	Перечень рекомендуемых информационных ресурсов.....	26
10	Рекомендуемая литература.....	27
	Приложение А. Образец отчета по лабораторной работе	29
	Приложение Б. Образец оформления титульного листа лабораторной работы	35

УЧЕБНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА «ДЕФОРМАЦИЯ БАЛОК ПРИ ПЛОСКОМ ИЗГИБЕ»

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомление студентов, изучающих общий курс сопротивления материалов, с вопросами экспериментального определения численных значений модуля упругости первого рода (E) для различных материалов, а также исследование зависимости деформации балки от типа его материала (модуля упругости первого рода).

2. ОПИСАНИЕ ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ WP 100

Лабораторная работа проводится на установке WP 100, предназначенной для проведения экспериментов, связанных с исследованием деформаций балок при плоском изгибе.

Установка может быть использована как для проведения экспериментов студентами, так и для демонстрации преподавателями на учебных занятиях явления плоского изгиба.

Конструкция установки имеет жесткие магнитные опоры, которые могут быть установлены практически в любое положение, что дает возможность непосредственного наблюдения за ходом экспериментов.

Установка используется в процессе обучения для решения широкого диапазона задач, связанных с изучением темы «изгиб прямолинейных брусев».

Она позволяет проводить многочисленные эксперименты по измерению деформаций балок, поскольку

возможны разные варианты прикладываемых нагрузок для различных способов закрепления ее концов.

Балки для проведения испытания на изгиб легко устанавливаются в установку для проведения испытания на упругую деформацию.

Испытательная установка имеет две дополнительные опции:

- горизонтальная магнитная поверхность на верхней стороне исследуемой балки;
- вертикальная магнитная поверхность на фронтальной стороне исследуемой балки.

По сравнению с деформацией исследуемой балки, деформация испытательной установки при проведении эксперимента пренебрежительно мала.

Полученные экспериментальные данные могут быть проанализированы как с помощью графиков, так и математически.

Обучающиеся учатся планировать, выполнять и оценивать результаты измерений. По результатам экспериментальных данных у них появляется база данных для дальнейшего обсуждения причин, приводящих к разрушению образца.

Установка обладает большими возможностями, направленными на развитие психомоторики у студентов при проведении экспериментов. У них при этом развивается чувство уверенности при работе с измерительным оборудованием.

Установка представляет машину для проведения серии испытаний балок на плоский изгиб. При проведе-

нии экспериментов нагрузка прикладывается к различным стержням, после чего измеряется величина их деформации.

Для проведения на этой установке экспериментов на изгиб могут применяться разные варианты закрепления концов балки.

Шарнирно-подвижная опора /одномерные захваты/:

Конец балки может поворачиваться вокруг шарнира и иметь поступательное перемещение по горизонтали. Данный тип опор может воспринимать силы, действующие под прямым углом к опорной поверхности.

Шарнирно-неподвижная опора /двухмерные захваты/:

Конец балки не может иметь поступательных перемещений по горизонтали и вертикали, но может поворачиваться в одной плоскости относительно оси цилиндрического шарнира. Данный тип закрепления концов балки может воспринимать силы, действующие в любом направлении.

Жесткая заделка /трехмерные захваты/:

Конец балки закреплен таким образом, что не может иметь ни поступательного перемещения, ни вращения. Данный тип опор может воспринимать силы, действующие в любом направлении, а также моменты.

Настольное устройство состоит из направляющей штанги, на которой установлены две подвижные опоры для проведения экспериментов на изгиб.

Схема расположения оборудования приведена на рис. 1.

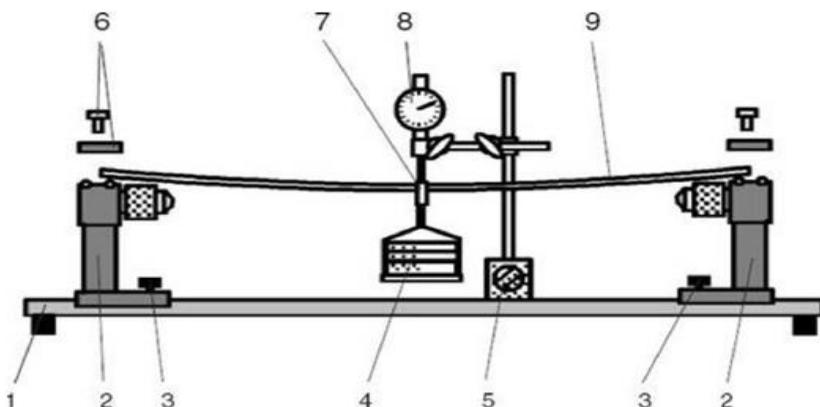


Рис. 1. Схема испытательной машины $\text{УИМ } 100$

На этом рисунке:

- 1 – направляющая штанга;
- 2 – подвижные опоры;
- 3 – крепежные винты для опор;
- 4 – прикладываемая нагрузка;
- 5 – магнитный держатель для индикатора;
- 6 – прижимная пластина и винт;
- 7 – элемент для передачи силы;
- 8 – стрелочный индикатор;
- 9 – испытываемый образец.

3. ИСПЫТЫВАЕМЫЕ ОБРАЗЦЫ

Испытываемые образцы балок, изготовленные из различных материалов, длиной L_0 , прямоугольного поперечного сечения шириной b и высотой h (рис. 2), устанавливаются в испытательную установку.

Сопротивление материалов

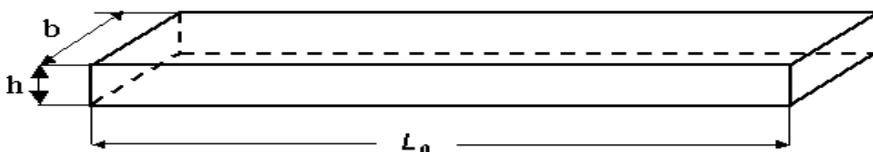


Рис. 2. Эскиз испытываемых образцов

Имеется следующий комплект балок для проведения испытаний на изгиб:

Материал балки	Размеры сечения $b \times h$, мм	Длина балки L_0 , мм
1	2	3
Медь /Cu/	20 × 4	510
Латунь /Ms/	20 × 4	510
Сталь /St/	20 × 4	510
Алюминий / Al/	10 × 5	510
Алюминий / Al/	15 × 5	510
Алюминий / Al/	20 × 5	510
Алюминий / Al/	25 × 5	510
Алюминий / Al/	30 × 5	510
Алюминий / Al/	20 × 3	510
Алюминий / Al/	20 × 4	510

1	2	3
Алюминий / Al/	20 × 4	410
Алюминий / Al/	20 × 4	310
Алюминий / Al/	20 × 4	210
Алюминий / Al/	20 × 6	510
Алюминий / Al/	20 × 8	510
Алюминий / Al/	20 × 10	510
Алюминий / Al/	10 × 10	510

4. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА НА ИЗГИБ

Вместо стандартных δ-образных опор, в испытательной машине используются цилиндрические опоры и оригинальный элемент для передачи усилия, поскольку δ-образные опоры приводят к появлению больших точечных усилий и разрушению образца.

Цилиндрические опоры, кроме того, удовлетворяют стандартам по проведению испытаний материалов (рис. 3).

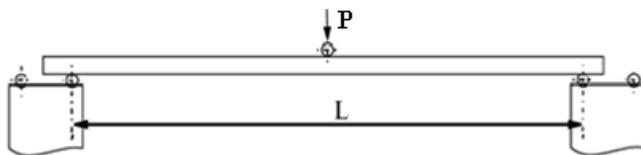


Рис. 3. Цилиндрические опоры и передача сил при изгибе

Элемент передачи усилия может быть жестко закреплен на образце для испытания на изгиб (рис. 4).

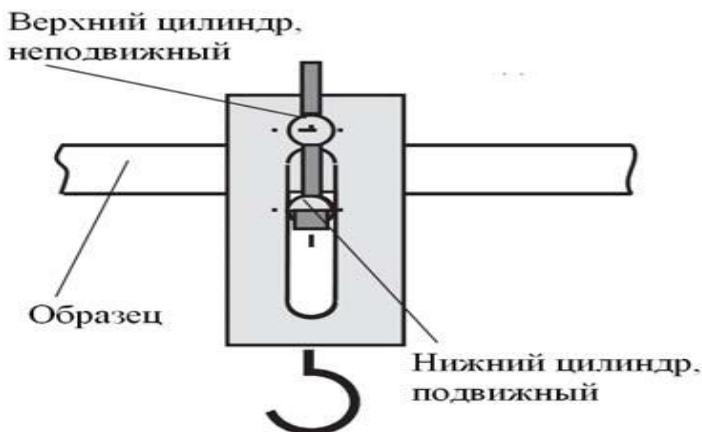


Рис. 4. Элемент для передачи нагрузки

Например, при проведении испытания консольной жестко закрепленной балки ее пролет L точно задан и элемент передачи усилия не скользит даже при ее значительных отклонениях (рис. 5).



Рис. 5. Консольная балка

Возможны следующие варианты прикладываемых нагрузок для различных способов закрепления концов балки (рис. 6):

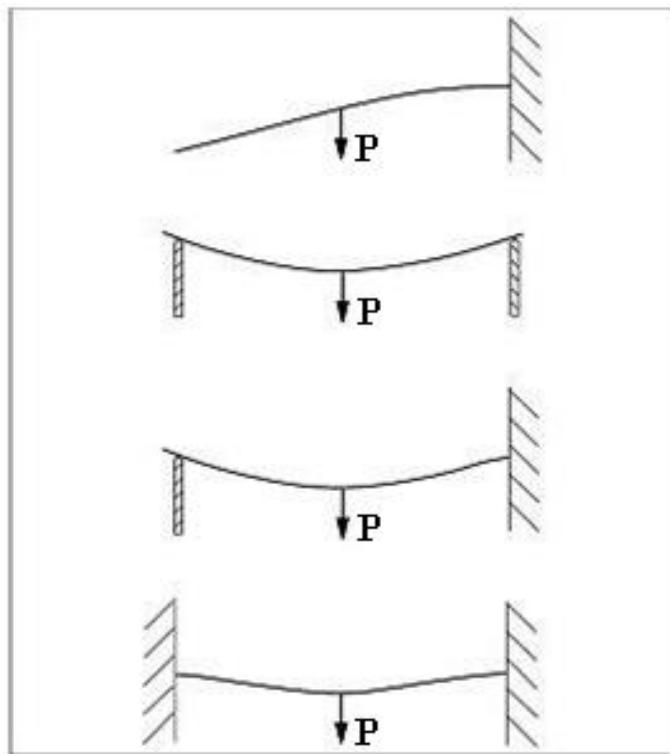


Рис. 6. Варианты прикладываемых нагрузок

- Консольная нагрузка. Нагрузка на однопролетную жестко закрепленную балку с одним свободным концом.
- Нагрузка на однопролетную шарнирно закрепленную балку, у которой оба конца находятся на опорах.
- Нагрузка на однопролетную жестко закрепленную балку, у которой один конец жестко закреплен, а второй лежит на опоре.
- Нагрузка на однопролетную жестко закрепленную балку, у которой оба конца жестко закреплены.

5. ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Изгибом называется такой вид деформации бруса (стержня), при котором внешние нагрузки действуют перпендикулярно к его геометрической оси.

Характерным признаком изгиба является изменение кривизны бруса, в частности, при изгибе бруса с прямолинейной осью, последняя получает криволинейное очертание.

Прямой брус (стержень), работающий на изгиб, называют балкой.

Сечения, которые расположены в плоскостях, перпендикулярных к геометрической оси стержня, называются поперечными сечениями. Размеры поперечного сечения стержня значительно меньше его длины.

Если в поперечном сечении балки возникает только изгибающий момент (m) – это чистый изгиб.

Изгиб называют поперечным, если в поперечных сечениях балки возникают изгибающие моменты (m) и поперечные силы (q).

Если все внешние нагрузки лежат в одной плоскости, называемой силовой, и эта плоскость проходит через одну из главных центральных осей поперечного сечения (y или z), такой вид деформации балки называют плоским прямым изгибом.

В настоящей лабораторной работе исследуются балки, находящиеся в состоянии плоского прямого изгиба (рис. 7 и 8).

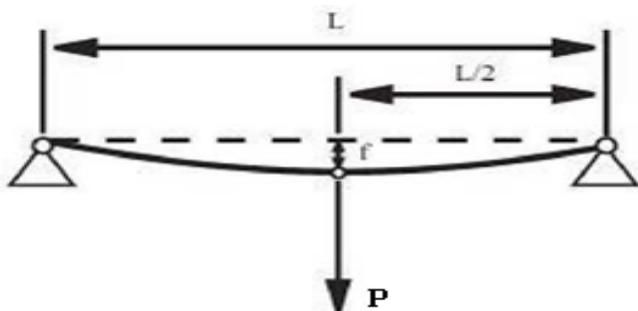


Рис. 7. Шарнирно опертая балка

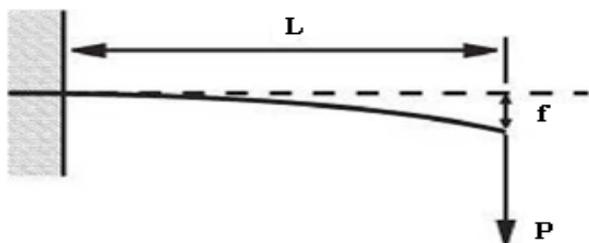


Рис. 8. Жестко защемленная (консольная) балка

При изучении растяжения и сжатия прямых стержней было установлено, что их сопротивление пропорционально только площади поперечного сечения.

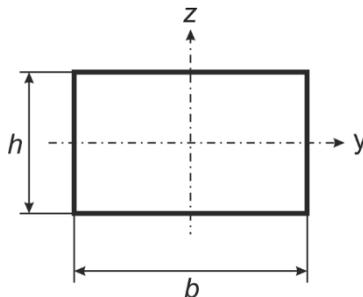
При одинаковой площади сечения и одном и том же материале стержня его сопротивление растяжению или сжатию не зависит от формы и расположения сечения относительно главных центральных осей и оказывается одинаковым.

При исследовании более сложных видов деформации, в том числе и изгиба, сопротивление элемента конструкции внешним нагрузкам зависит не только от величины площади поперечного сечения, но и от формы этого сечения.

Форма поперечного сечения балки учитывается во всех расчетных формулах в виде осевых моментов инерции относительно главных центральных осей (главные моменты инерции).

В зависимости от формы поперечного сечения балки, используются следующие формулы для вычисления главных моментов инерции:

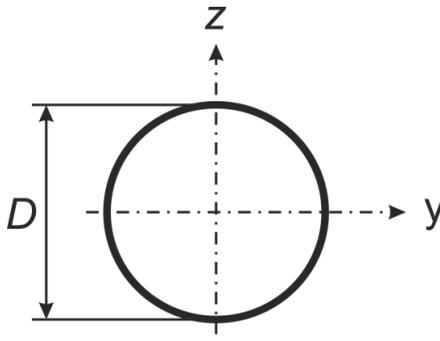
- Образец с прямоугольным сечением:



$$I_y = \frac{bh^3}{12} \quad (1)$$

$$I_z = \frac{hb^3}{12}$$

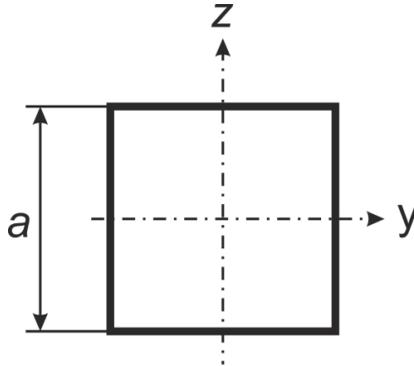
- Образец с круглым сечением:



$$I_y = \frac{\pi D^4}{64} \quad (2)$$

$$I_z = \frac{\pi D^4}{64}$$

- Образец с квадратным сечением:



$$I_y = \frac{a^4}{12} \quad (3)$$

$$I_z = \frac{a^4}{12}$$

Под действием внешних нагрузок балка деформируется и ее ось искривляется.

Плоская кривая, форму которой принимает ось балки при изгибе, называется изогнутой осью, или упругой линией.

При деформации балки центры тяжести ее поперечных сечений получают линейные перемещения, а сами сечения поворачиваются вокруг своих нейтральных осей.

Допущение о малости перемещения позволяет считать, что направления линейных перемещений перпендикулярны продольной (геометрической) оси недеформируемого бруса.

Перемещение центра тяжести сечения по направлению, перпендикулярному геометрической оси балки, называется прогибом балки в данном сечении и обозначается буквой v .

Наибольший прогиб называется стрелой прогиба и обозначается буквой f .

Угол φ , на который каждое сечение поворачивается по отношению к своему первоначальному положению, называется углом поворота сечения.

Таким образом, при изгибе балок точки ее геометрической оси (x) получают поперечные перемещения или прогибы (v), а поперечные сечения поворачиваются относительно своих нейтральных осей (y) на угол φ (рис. 9).

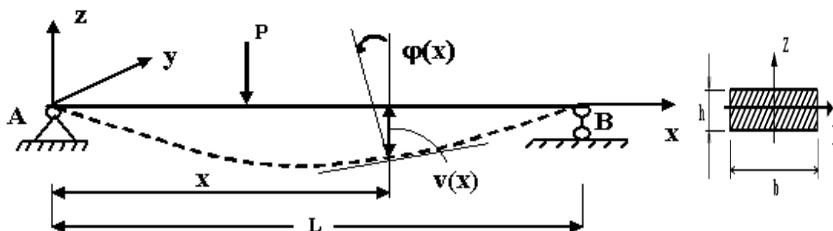


Рис. 9. Деформация балки при изгибе

Прогибы (v) и углы поворота (φ) часто называют линейными и угловыми перемещениями.

Прогиб (v) считается положительным, если он происходит вверх.

Угол поворота (φ) считается положительным, если поперечное сечение поворачивается против хода часовой стрелки.

Так, например, на рис. 9 $v(x) < 0$, а $\varphi(x) > 0$.

Прогибы балок измеряются в сантиметрах или миллиметрах, а углы поворота – в градусах или радианах.

Здесь и далее начало отсчета для координат x , y и z выбирается на левом конце балки.

Теория деформации балок, изучаемая в курсе сопротивления материалов, основывается на следующих предположениях (гипотезах):

1. Материал балки подчиняется закону Гука ($\sigma = E \cdot \varepsilon$), то есть напряжения в балке не выходят за предел пропорциональности.

2. Размеры поперечных сечений балки невелики по сравнению с ее длиной.

3. Прогибы балки (v) малы по сравнению с ее длиной /расстоянием между опорами балки/ L , то есть отношение наибольшего прогиба f к длине пролета L балки устанавливается в следующих пределах:

$$\frac{f}{L} = \frac{1}{200} \div \frac{1}{1000}$$

4. Углы поворота поперечных сечений (φ) не превышают 1° :

$$|\varphi_{\max}| \leq 1^\circ = 0,0175 \text{ рад.}$$

В этом случае для определения прогибов v можно использовать приближенное дифференциальное уравнение изогнутой оси балки:

$$V''(x) = \frac{d^2V}{dx^2} = \frac{M(x)}{EI_y}, \quad (4)$$

где $M(x)$ – выражение изгибающего момента, действующего в поперечном сечении балки на расстоянии x (на рассматриваемом участке балки);

E – модуль упругости первого рода / модуль продольной (нормальной) упругости/;

I_y – главный момент инерции поперечного сечения балки.

Величина $E \cdot I_y$, характеризующая сопротивляемость балки изменению ее первоначальной формы, называется жесткостью балки при изгибе.

Углы поворота поперечных сечений φ можно принимать равными первой производной от прогиба v .

Так как известно, что

$$V'(x) = \operatorname{tg} \varphi(x),$$

то, в связи с малостью деформаций балок, можно считать, что

$$\operatorname{tg} \varphi \approx \varphi.$$

Следовательно, можно записать:

$$V'(x) = \operatorname{tg} \varphi(x) \approx \varphi(x).$$

Для расчета балок на жесткость в курсе сопротивления материалов обычно изучают метод непосредственного интегрирования и метод начальных параметров.

Неизвестные постоянные интегрирования (метод непосредственного интегрирования) или неизвестные начальные параметры (метод начальных параметров) определяются из условий закрепления балки (кинематические граничные условия).

Кинематические граничные условия отражают характер закрепления (опирания) балки и состояются относительно прогибов и углов поворота.

Так, например, для шарнирно опертой балки (рис. 9) граничные условия характеризуют отсутствие прогибов на опорах:

$$V_a = 0, \quad v_b = 0.$$

Теоретические значения наибольших прогибов для балок, изображенных на рис. 7 и 8, могут быть определены по следующим формулам:

- деформация шарнирно опертой балки (рис. 7):

$$V_{\max} = f_z = \frac{PL^3}{48EI_y}; \quad (5)$$

- деформация жестко заземленной (консольной) балки (рис. 8):

$$V_{\max} = f_z = \frac{PL^3}{3EI_y}; \quad (6)$$

где L – расчетная длина балки /расстояние между опорами балки/;

V_{\max} – максимальный прогиб в результате приложения силы p ;

f – максимальная деформация /стрела прогиба/;

P – внешняя нагрузка, прикладываемая к балке.

6. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

«Определение модуля упругости первого рода для различных материалов. Исследование зависимости деформации балки от типа ее материала (модуля упругости первого рода)»

Для однопролетной шарнирно опертой балки с длиной пролета $L=500$ мм, схема которой показана на рис. 10, опытным путем определяем величину прогиба (f) посередине пролета.

На основании формулы (5), получаем выражение для вычисления значения модуля упругости первого рода для материала, из которого изготовлена испытываемая балка:

$$E = \frac{P L^3}{48 I_y f} \quad (7)$$

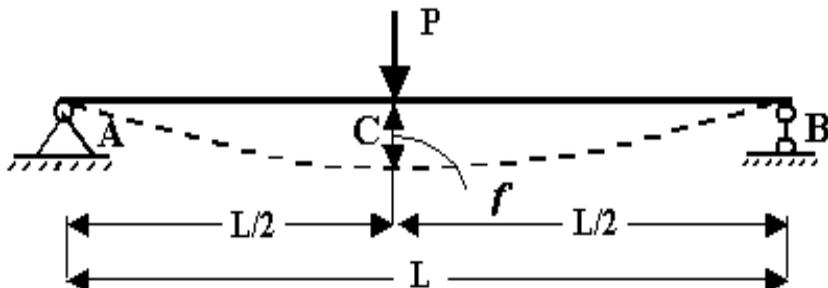


Рис. 10. Расчетная схема испытываемой балки

Исходные данные:

Испытываются 4 образца шарнирно опертой балки (рис. 10), изготовленные из стали (St), меди (Cu), латуни (Ms) и алюминия (Al).

Каждая балка имеет прямоугольное поперечное сечение с нормативным размером **b x h = 20 x 4мм**. Нормативная длина испытываемых образцов **L₀ = 510 мм**.

Главный момент инерции прямоугольного поперечного сечения испытываемых образцов определяется по формуле (1):

$$I_y = \frac{bh^3}{12}$$

Внешняя нагрузка величиной **m = 1кг**, то есть **P = 9,81Н**, прикладывается посередине испытываемой балки.

Методика проведения эксперимента

Определение модуля упругости первого рода для каждой из четырех балок, изготовленных из различных материалов, производится в следующей последовательности:

1. Шарнирные опоры устанавливаем на расстоянии **500 мм**. Нормативная длина балки при этом составляет **L₀ = 510 мм**.

2. Расчетные длины балок (пролет балки) **L = 500 мм** и **L/2 = 250 мм** предварительно отмечаем карандашом до проведения эксперимента (рис. 11).

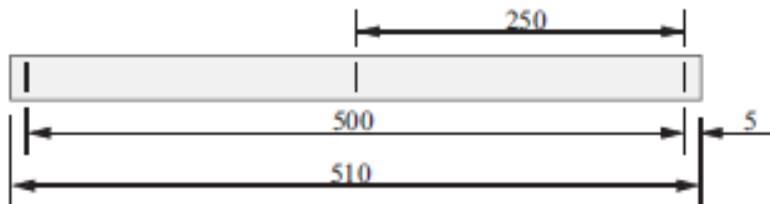


Рис. 11. Испытываемая балка с метками

3. Измеряем фактические размеры поперечного сечения испытываемых балок (**b** и **h**) и заносим их в журнал испытаний (табл. 1).

4. Определяем по формуле (1) главные моменты инерции I_y прямоугольного поперечного сечения испытываемых балок и заносим их в журнал испытаний (табл. 1).

5. Устанавливаем балку в держатель установки.

6. Обнуляем показания стрелочного индикатора.

7. Осторожно нагружаем балку нагрузкой в **1** кг.

8. Снимаем показания стрелочного индикатора и заносим их в журнал испытаний (табл. 1 и 2).

9. По формуле (7) вычисляем значение модуля упругости первого рода $E^{\text{опыт}}$ для испытываемой балки и заносим это значение в журнал испытаний (табл. 1).

10. Определяем погрешность между опытным и теоретическим значениями модуля упругости первого рода испытываемой балки и заносим эту величину в журнал испытаний (табл. 1).

Для этого полученное опытным путем значение модуля упругости первого рода сравниваем с соответствующим теоретическим значением, расхождение между ними не должно превышать **5 %**, то есть:

Сопротивление материалов

$$\varepsilon = \left| \frac{E^{\text{опыт}} - E^{\text{теор}}}{E^{\text{опыт}}} \right| \cdot 100\% \leq 5\%$$

11. По полученным в эксперименте значениям модуля упругости $E^{\text{опыт}}$ различных материалов исследуем зависимость деформации балок от типа их материала (модуля упругости первого рода).

Из формулы (5):

$$f = \frac{PL^3}{48EI_y}$$

видно, что имеется зависимость f от $1/E$.

Для построения графика этой зависимости:

– вычисляем обратные значения полученных в эксперименте модулей упругости первого рода $E^{\text{опыт}}$ различных материалов и заносим их в журнал испытаний (табл. 2);

– по полученным значениям строим график 1, показывающий зависимость деформации балок от типа материала (модуля упругости) $f \sim \frac{1}{E}$, для чего по оси абсцисс откладываем обратное значение модуля упругости $\frac{1}{E^{\text{опыт}}}$, а по оси ординат - соответствующие значения измеренных деформаций f испытываемых балок (показания стрелочного индикатора).

Образец графика 1

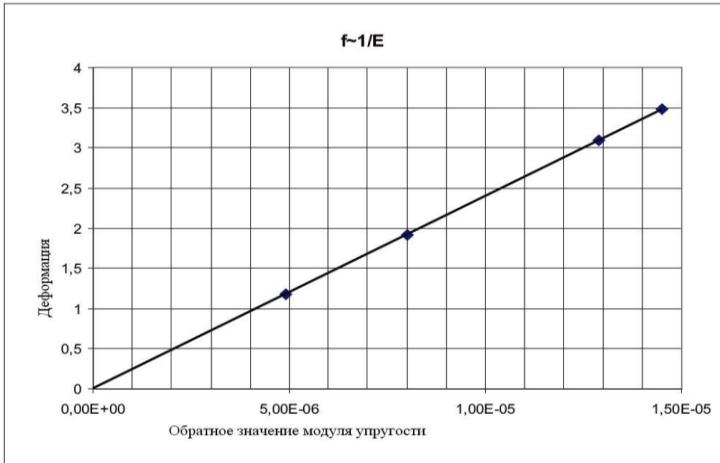


График 1. Зависимость деформации балки от типа ее материала (модуля упругости первого рода)

7. ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

1. Нельзя допускать к испытательной установке лиц, не ознакомившихся с ее устройством.
2. Запрещается устанавливать образец и приводить в действие испытательную установку без разрешения преподавателя.
3. Лабораторную работу нужно выполнять в соответствии с выше приведенной инструкцией.
4. Нагружение испытываемого образца проводить аккуратно, при этом нельзя превышать максимальную допускаемую нагрузку на балку. Грузы не бросать.
5. При перерывах в работе испытательная установка не должна находиться в нагруженном состоянии.
6. Во время проведения лабораторной работы запрещается трогать образец руками.

7. Необходимо находиться от испытательной установки на расстоянии не менее 0,5м.

8. Запрещается подходить к лабораторным установкам, не связанным с выполнением данной работы.

8. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какова цель лабораторной работы?

2. Какой вид деформации называется чистым изгибом?

3. Какой вид деформации называется плоским поперечным изгибом?

4. Какие внутренние силовые факторы возникают при плоском прямом изгибе?

5. Какие перемещения получают поперечные сечения балок при плоском прямом изгибе балок?

6. Правило знаков при определении этих перемещений.

7. Приближенное дифференциальное уравнение изогнутой оси балки.

8. Допущения, на основании которых получено приближенное дифференциальное уравнение изогнутой оси балки.

9. Какие методы расчета балок на жесткость изучают в курсе сопротивления материалов?

10. Какие кинематические граничные условия принимаются для шарнирно опертой балки и жёстко защемленной балки при расчете их на жесткость?

11. Какая величина называется жесткостью поперечного сечения балки при изгибе?
12. Что называется пролетом балки?
13. Что называется стрелой прогиба балки?
14. Как называется свисающая часть балки, расположенная слева (справа) от крайней опоры?

9. ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ

1. ЭБС «Znanium.com».
2. НЭБ eLibrary.ru.
3. ЭБС НТБ ДГТУ.
4. СКИФ ДГТУ.
5. ЭБС «Университетская библиотека online».
6. ЭБС IPRbooks.
7. Справочный модуль «Энциклопедии ZNANIUM.com».
8. ЭБС «BOOK.ru».
9. БД «Электронная библиотека технического вуза. Консультант студента».
10. БД «Book on Lime».
11. ЭБС «ЮРАЙТ».

10. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Александров А.В. Сопротивление материалов /А.В. Александров, В.Д. Потапов. – Москва: Высшая школа, 2011.

2. Варданян Г.С. Сопротивление материалов (с основами строительной механики) /Г.С. Варданян, Н.М. Атаров. – Москва: Инфра-М, 2011.

3. Еремин В.Д. Сопротивление материалов и техническая механика (Часть I): методическая разработка по подготовке студентов к промежуточной (итоговой) аттестации /В.Д Еремин. – Ростов-на-Дону: ИЦ ДГТУ, 2018.

4. Еремин В.Д. Сопротивление материалов и техническая механика (Часть II): методическая разработка по подготовке студентов к промежуточной (итоговой) аттестации /В.Д Еремин. – Ростов-на-Дону: ИЦ ДГТУ, 2018.

5. Еремин В.Д. Определение внутренних усилий, напряжений и перемещений. Расчет балок и плоских рам на жесткость /В.Д. Еремин, А.А. Аваков, А.С. Чепурненко. – Ростов-На-Дону: ИЦ ДГТУ, 2021.

6. Степин П.А. Сопротивление материалов /П.А. Степин. – Санкт-Петербург: Лань, 2010.

7. Копнов В.А. Сопротивление материалов: Руководство для решения задач и выполнения лабораторных и расчетно-графических работ /В.А. Копнов, С.Н. Кривошапка. – Москва: Высшая школа, 2003.

8. Тимофеев С.И. Сопротивление материалов / С.И. Тимофеев. – Ростов-На-Дону: Феникс, 2014.

Приложение А
Образец отчета по лабораторной работе

ОТЧЕТ

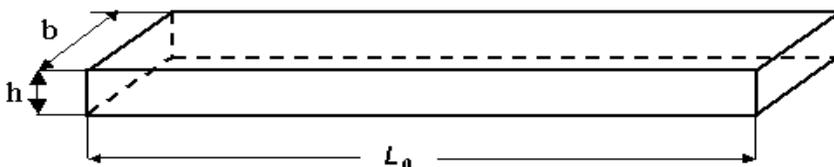
по лабораторной работе № _____

«Деформация балок при плоском изгибе»

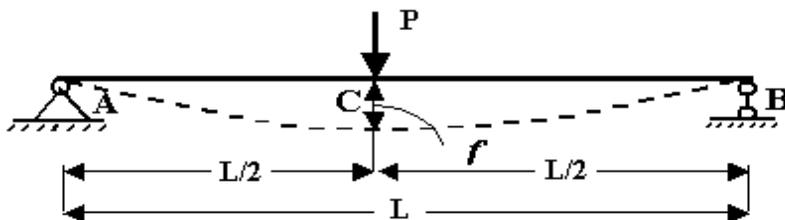
Дата проведения работы _____

1. Наименование машины – испытательная установка WP 100

2. Эскиз испытываемых образцов



3. Расчетная схема испытываемой балки



ЖУРНАЛ ИСПЫТАНИЙ

«Определение модуля упругости первого рода для различных материалов. Исследование зависимости деформации балки от типа ее материала (модуля упругости первого рода)»

1. Характеристика испытываемых образцов:

- нормативная длина испытываемого образца:

$$L_0 = 510\text{мм};$$

- расчетная длина /пролет/ балки:

$$L = 500\text{мм};$$

- фактические размеры поперечного сечения балки:

$$b = 20,0\text{мм}; \quad h = 4,00\text{мм};$$

- главный момент инерции поперечного сечения балки:

$$I_y = \frac{bh^3}{12} = \frac{20,0 \cdot 4,00^3}{12} = 107\text{мм}^4.$$

2. Внешняя нагрузка:

$$m = 1\text{кг}, \text{ то есть } p = 9,81\text{н}.$$

3. Обработка данных испытаний:

Вычисляем по соответствующим формулам модуль упругости $E^{\text{опыт}}$, погрешность между опытным и теоретическим значениями модуля упругости, обратные значения модулей упругости $1/E^{\text{опыт}}$ и заносим полученные значения в табл. 1 и табл. 2.

Эксперимент № 1 – материал испытываемого образца – сталь (St):

– модуль упругости $E^{\text{опыт}}$, рассчитанный из измеренного значения f , в $\frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$

$$E^{\text{опыт}} = \frac{P L^3}{48 I_y f} =$$

– погрешность между опытным и теоретическим значениями модуля упругости первого рода, в %

$$\varepsilon = \left| \frac{E_{\text{опыт}} - E_{\text{теор}}}{E_{\text{опыт}}} \right| \cdot 100\% =$$

– обратное значение полученного в эксперименте модуля упругости первого рода $1/E_{\text{опыт}}$, в $\text{мм}^2/\text{Н}$

$$\frac{1}{E_{\text{опыт}}} =$$

Эксперимент № 2 – материал испытываемого образца – медь (Cu):

– модуль упругости $E_{\text{опыт}}$, рассчитанный из измеренного значения f , в $\frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$

$$E_{\text{опыт}} = \frac{P L^3}{48 I_y f} =$$

– погрешность между опытным и теоретическим значениями модуля упругости первого рода, в %

$$\varepsilon = \left| \frac{E_{\text{опыт}} - E_{\text{теор}}}{E_{\text{опыт}}} \right| \cdot 100\% =$$

– обратное значение полученного в эксперименте модуля упругости первого рода $1/E_{\text{опыт}}$, в $\text{мм}^2/\text{Н}$

$$\frac{1}{E_{\text{опыт}}} =$$

Эксперимент № 3 – материал испытываемого образца – латунь (Ms):

– модуль упругости $E_{\text{опыт}}$, рассчитанный из измеренного значения f , в $\frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$

Сопротивление материалов

$$E_{\text{опыт}} = \frac{P L^3}{48 I_y f} =$$

– погрешность между опытным и теоретическим значениями модуля упругости первого рода, в %

$$\varepsilon = \left| \frac{E_{\text{опыт}} - E_{\text{теор}}}{E_{\text{опыт}}} \right| \cdot 100\% =$$

– обратное значение полученного в эксперименте модуля упругости первого рода $1/E_{\text{опыт}}$, в $\text{мм}^2/\text{Н}$

$$\frac{1}{E_{\text{опыт}}} =$$

Эксперимент № 4 – материал испытываемого образца – алюминий (Al):

– модуль упругости $E_{\text{опыт}}$, рассчитанный из измеренного значения f , в $\frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$

$$E_{\text{опыт}} = \frac{P L^3}{48 I_y f} =$$

– погрешность между опытным и теоретическим значениями модуля упругости первого рода, в %

$$\varepsilon = \left| \frac{E_{\text{опыт}} - E_{\text{теор}}}{E_{\text{опыт}}} \right| \cdot 100\% =$$

– обратное значение полученного в эксперименте модуля упругости первого рода $1/E_{\text{опыт}}$, в $\text{мм}^2/\text{Н}$

$$\frac{1}{E_{\text{опыт}}} =$$

Таблица 1

Материал балки	St	Cu	Ms	Al
Фактические размеры сечения балки $b \times h$, в мм	20x4	20x4	20x4	20x4
Главный момент инерции сечения испытываемых балок, в мм ⁴	107	107	107	107
Показания индикатора f , в мм				
Модуль упругости $E^{\text{ОПЫТ}}$, рассчитанный из измеренного значения f , в Н/мм ²				
Модуль упругости $E^{\text{ТЕОР}}$ для каждого материала, в Н/мм ²	210000	125000	80000	70000
Погрешность между $E^{\text{ОПЫТ}}$ и $E^{\text{ТЕОР}}$, в %				

Таблица 2

Материал балки	St	Cu	Ms	Al
Показания индикатора f , в мм				
Обратное значение модуля упругости $1/E^{\text{ОПЫТ}}$, в мм ² /Н				

4. Строим график 1, показывающий зависимость деформации балки от типа материала (модуля упругости) $f \sim \frac{1}{E}$.

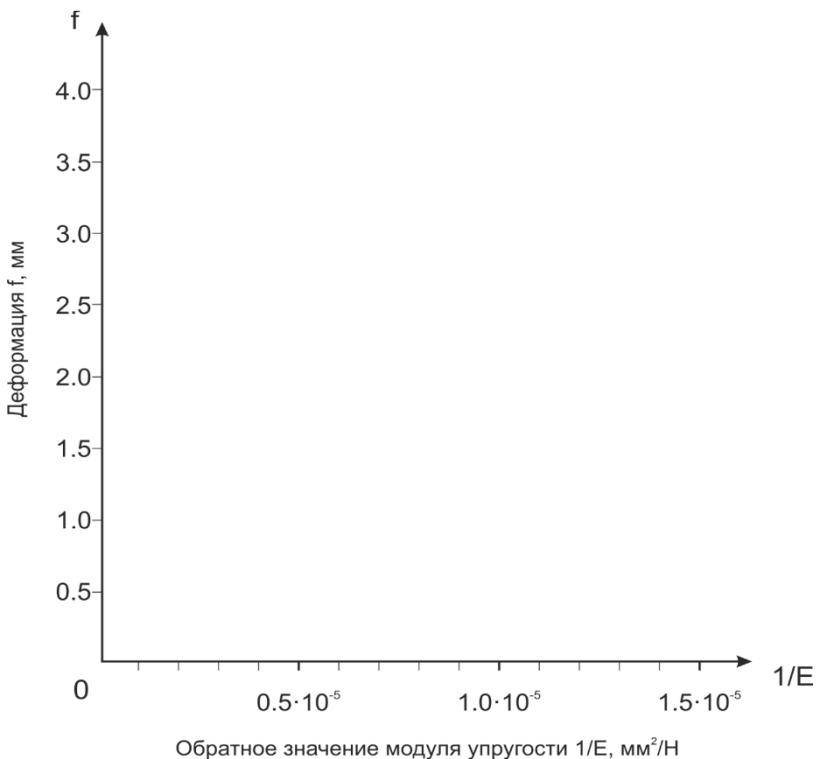


График 1. Зависимость деформации балки от типа ее материала (модуля упругости первого рода)



Приложение Б

Образец оформления титульного листа лабораторной работы

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ» (ДГТУ)**

**Кафедра «Строительная механика
и теория сооружений»**

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

на тему:

«Деформация балок при плоском изгибе»

Выполнил студент группы _____

(Ф.И.О.)

Принял _____

(Ф.И.О.)

Ростов-на-Дону

20 _____