



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Строительная механика и теория сооружений»

Практикум

о порядке выполнения
учебно-исследовательской лабораторной работы
«Деформация балок при плоском изгибе»
(часть 3)
по дисциплинам

**«Сопротивление материалов»,
«Техническая механика»,
«Архитектурно-строительная
механика»**

Авторы
Еремин В. Д.

Ростов-на-Дону, 2024

Аннотация

Практикум содержит основные теоретические положения, необходимые для проведения учебно-исследовательской лабораторной работы «Деформация балок при плоском изгибе» по дисциплинам сопротивление материалов, техническая механика, архитектурно-строительная механика, теоретическая и прикладная механика, строительная механика, дано описание испытательной установки и образца, изложен порядок проведения и обработки результатов испытаний.

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; 07.03.02 – РР; 07.03.01 – Архитектура; 07.03.04 – ГР; 23.03.03 – АС; 29.03.04 – ТХОМ и специальностям 08.05.01 – СУЗ; 27.05.01 – ПГ; 23.05.01 – ПТО.

Авторы

к.т.н., профессор кафедры «Сопротивление материалов»
Еремин В.Д.



Оглавление

Деформация балок при плоском изгибе	4
1. Цель работы.....	4
2. Описание испытательной установки	4
3. Испытываемые образцы.....	7
4. Описание эксперимента на изгиб.....	8
5. Основные теоретические положения.....	10
6. Порядок проведения испытаний.....	16
6.1.Изучение зависимости деформации балки от размеров ее поперечного сечения.....	16
6.1.1. Исследование зависимости деформации балки от ширины ее поперечного сечения.....	16
6.1.2. Исследование зависимости деформации балки от высоты ее поперечного сечения.....	19
7. Контрольные вопросы.....	22
8. Основные правила техники безопасности.....	23
Приложение 1. Образец отчета по лабораторной работе.....	24
Приложение 2. Образец оформления титульного листа лабораторной работы.....	36

ДЕФОРМАЦИЯ БАЛОК ПРИ ПЛОСКОМ ИЗГИБЕ

1. Цель работы

Ознакомление студентов, изучающих общий курс сопротивления материалов, с вопросами экспериментального определения деформаций балок при плоском изгибе.

Настоящая учебно-исследовательская лабораторная работа ставит своей задачей:

1. Ознакомить студентов с вопросами экспериментального изучения зависимости деформации балки от размеров ее поперечного сечения (ширины и высоты прямоугольного сечения балки).
2. Доказать на опыте, что плоскость деформаций балок при плоском изгибе совпадает с плоскостью действия внешних сил (силовой плоскостью).

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 для решения широкого диапазона задач, связанных с изучением темы «Изгиб прямолинейных брусьев» в процессе обучения. 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 нижней стороне направляющей штанги;
- вертикальная магнитная поверхность на фронтальной стороне направляющей штанги.

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.

Студенты 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.

Испытательная установка представляет собой устройство для проведения серии испытаний балок на плоский изгиб. При проведении 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.

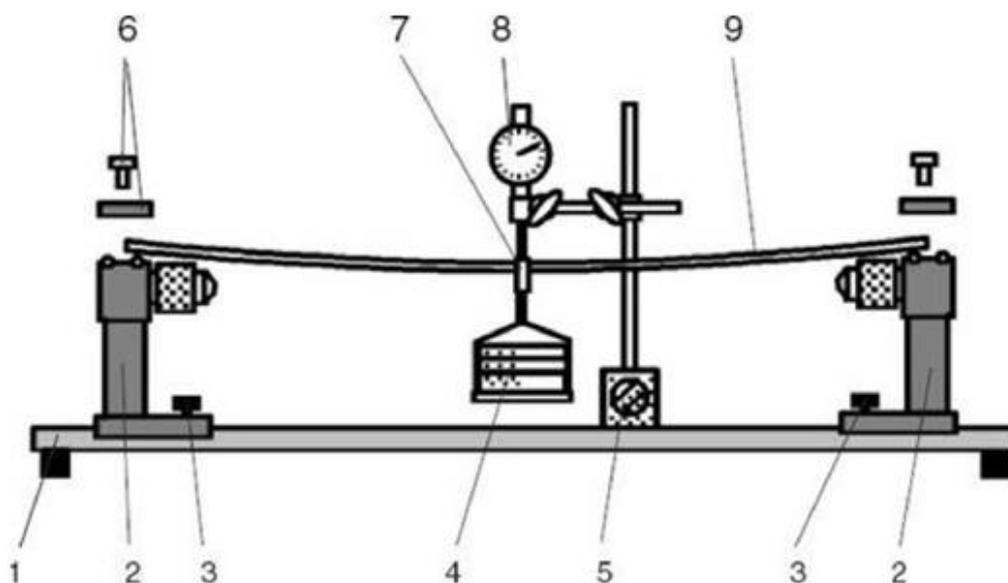


Рис.1. Схема испытательной машины WP 100

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.

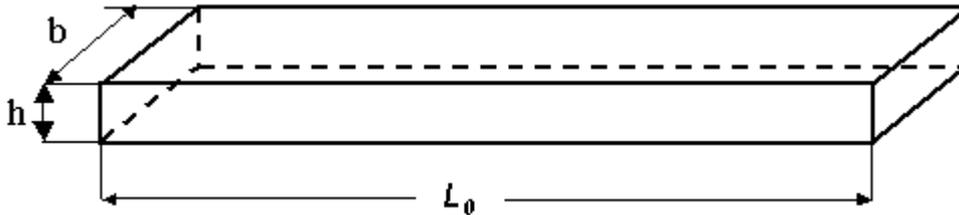


Рис.2. Эскиз испытываемых образцов

Имеется следующий комплект балок для проведения испытаний на изгиб:

Материал балки	Размеры сечения $b \times h$, мм	Длина балки L_0 , мм	Материал балки	Размеры сечения $b \times h$, мм	Длина балки L_0 , мм
Медь / Cu /	20 × 4	510	Алюминий / Al /	20 × 4	510
Латунь / Ms /	20 × 4	510	Алюминий / Al /	20 × 4	410
Сталь / St /	20 × 4	510	Алюминий / Al /	20 × 4	310
Алюминий / Al /	10 × 5	510	Алюминий / Al /	20 × 4	210
Алюминий / Al /	15 × 5	510	Алюминий / Al /	20 × 6	510
Алюминий / Al /	20 × 5	510	Алюминий / Al /	20 × 8	510
Алюминий / Al /	25 × 5	510	Алюминий / Al /	20 × 10	510
Алюминий / Al /	30 × 5	510	Алюминий / Al /	10 × 10	510
Алюминий / Al /	20 × 3	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).

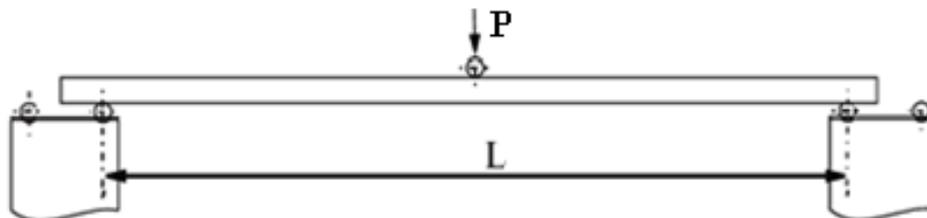


Рис.3. Цилиндрические опоры и передача сил при изгибе

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

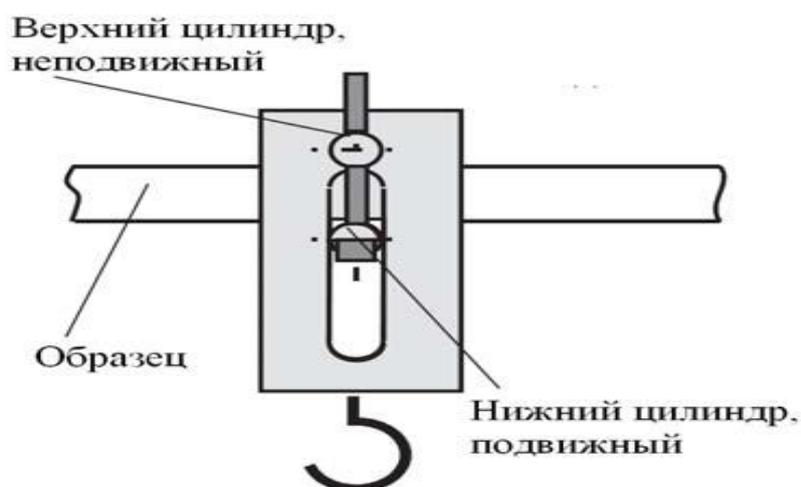


Рис.4. Элемент для передачи нагрузки

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):

- 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.

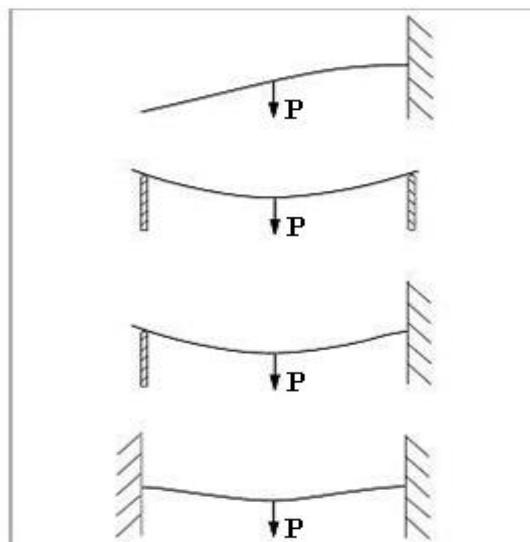


Рис.6. Варианты прикладываемых нагрузок

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 – 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 совпадает с одной 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).

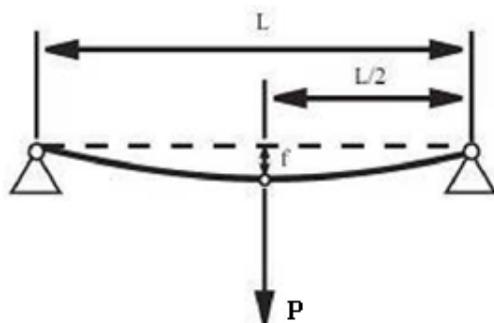


Рис.7. Шарнирно опертая балка

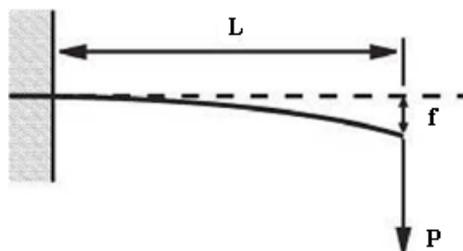


Рис.8. Жестко заземленная (консольная) балка

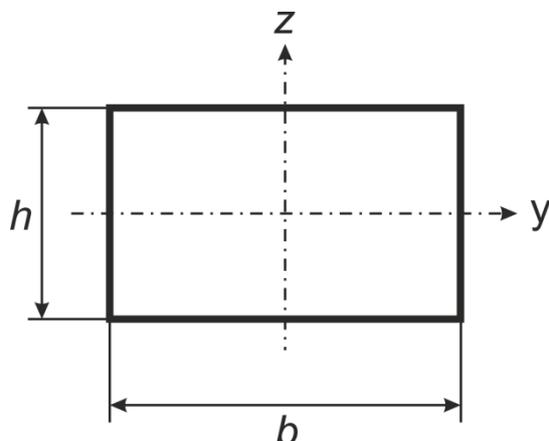
При изучении растяжения и сжатия прямых стержней было установлено, что их сопротивление пропорционально только площади поперечного сечения. При одинаковой площади сечения и одном и том же материале стержня его сопротивление растяжению или сжатию не зависит от формы и расположения сечения относительно 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:

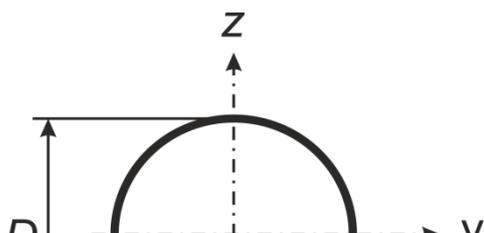
- образец с прямоугольным поперечным сечением



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

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

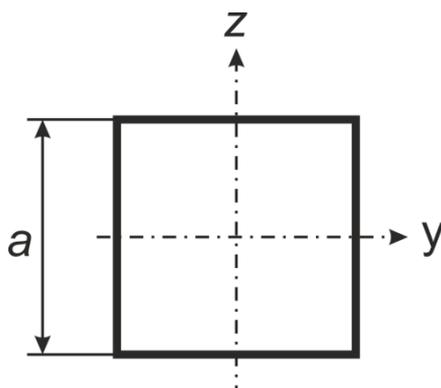
- образец с круглым поперечным сечением



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

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

- образец с квадратным поперечным 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).

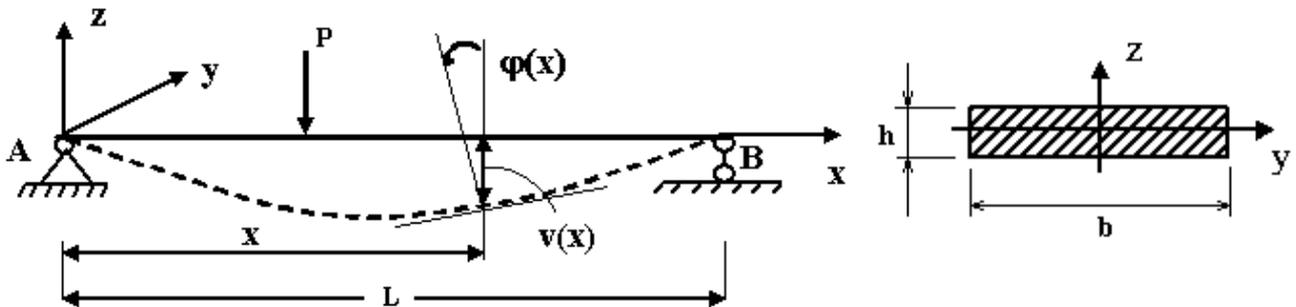


Рис.9. Деформация балки при изгибе

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. 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 EI_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 . Известно, что

$$v'(x) = \text{tg } \varphi(x),$$

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

$$\text{tg } \varphi \approx \varphi,$$

то есть можно записать

$$v'(x) = \text{tg } \varphi(x) \approx \varphi(x).$$

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 составляют относительно прогибов и углов поворота. Так, например, для шарнирно опертой балки (рис. 9) граничные условия характеризуют отсутствие прогибов на опорах

$$v_A = 0, v_B = 0.$$

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

- деформация шарнирно опертой балки (рис. 7)

$$\begin{aligned} V_{\max} = f_z &= \frac{PL^3}{48EI_y}; \\ V_{\max} = f_y &= \frac{PL^3}{48EI_z}; \end{aligned} \quad (5)$$

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

$$\begin{aligned} V_{\max} = f_z &= \frac{PL^3}{3EI_y}; \\ V_{\max} = f_y &= \frac{PL^3}{3EI_z}, \end{aligned} \quad (6)$$

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

6.1. Изучение зависимости деформации балки от размеров ее поперечного сечения

6.1.1. Исследование зависимости деформации балки от ширины ее поперечного сечения

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

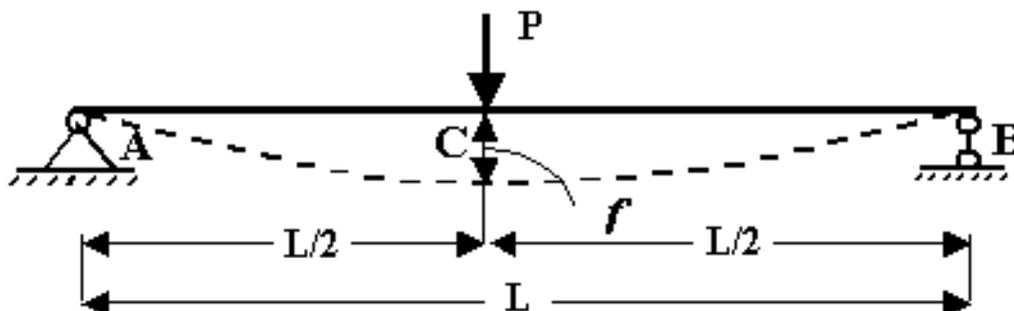


Рис.10. Расчетная схема испытываемой балки

На основании формул (1) и (5), имеем

$$f = \frac{PL^3}{4Ebh^3}, \quad (7)$$

где

P – величина внешней нагрузки;

E – модуль упругости первого рода;

b – ширина поперечного сечения испытываемой балки;

h – высота поперечного сечения испытываемой балки.

Исходные данные

Испытываются 5 образцов шарнирно опертых балок (рис. 10), изготовленных из алюминия (Al) с нормативной шириной поперечного сечения $b = 10, 15, 20, 25$ и 30 мм. Нормативная высота поперечного сечения этих балок одинаковая и равна $h = 5$ мм. Нормативная длина испытываемых образцов $L_0 = 510$ мм. Внешняя нагрузка величиной $m = 1$ кг, следовательно $P = 9,81$ Н, прикладывается посередине пролета испытываемой балки.

Методика проведения эксперимента

Исследование зависимости деформации балки от ширины поперечного сечения для каждой из пяти балок, изготовленных из алюминия с одинаковой высотой поперечного сечения $h = 5$ мм, производится в следующей последовательности:

1. Шарнирные опоры устанавливаем на расстоянии 500 мм. Нормативная длина балки при этом составляет $L_0 = 510$ мм.
2. Расчетные длины балок (пролет балки) $L = 500$ мм и $L/2 = 250$ мм предварительно отмечаем карандашом до проведения эксперимента (рис. 11).

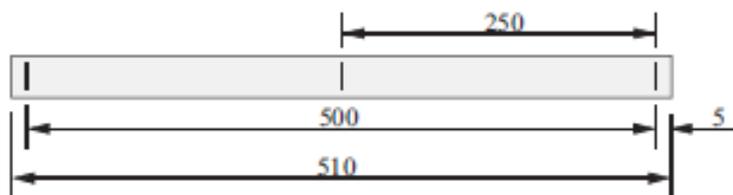


Рис.11. Испытываемая балка с метками

3. Измеряем фактические размеры поперечного сечения балки (b и h) и заносим их в журнал испытаний № 1 (табл. 1).
4. Определяем по формуле (1) главные моменты инерции прямоугольного поперечного сечения испытываемых балок и заносим их в журнал испытаний № 1 (табл. 1).
5. Устанавливаем балку в держатель.
6. Обнуляем показания стрелочного индикатора.
7. Осторожно нагружаем балку нагрузкой в 1 кг.
8. Снимаем показания индикатора и заносим их в журнал испытаний № 1 (табл. 1 и 2).
9. По формуле (7) вычисляем теоретическое значение прогиба для испытываемой балки и заносим это значение в журнал испытаний № 1 (табл. 1).

10. Определяем погрешность между опытным и теоретическим значениями прогиба испытываемой балки и заносим это значение в журнал испытаний № 1 (табл. 1).

Для этого полученное опытным путем значение прогиба сравниваем с соответствующим теоретическим значением, вычисленным по формуле (7), расхождение между ними не должно превышать 5 %, то есть

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

11. По полученным в эксперименте значениям прогиба различных балок исследуем зависимость деформации балки от ширины поперечного сечения.

Из формулы (7) видно, что можно построить зависимость f от $1/b$.

Для этого:

– вычисляем обратные значения ширины испытываемых образцов $1/b$ и заносим их в журнал испытаний № 1 (табл. 2);

– по полученным значениям строим график 1, показывающий зависимость деформации балки от ширины ее поперечного сечения ($f \sim \frac{1}{b}$), для чего по оси абсцисс откладываем обратные значения ширины испытываемых образцов $\frac{1}{b}$, а по оси ординат – соответствующие значения измеренных деформаций f испытываемых балок (показания стрелочного индикатора).

Образец графика 1

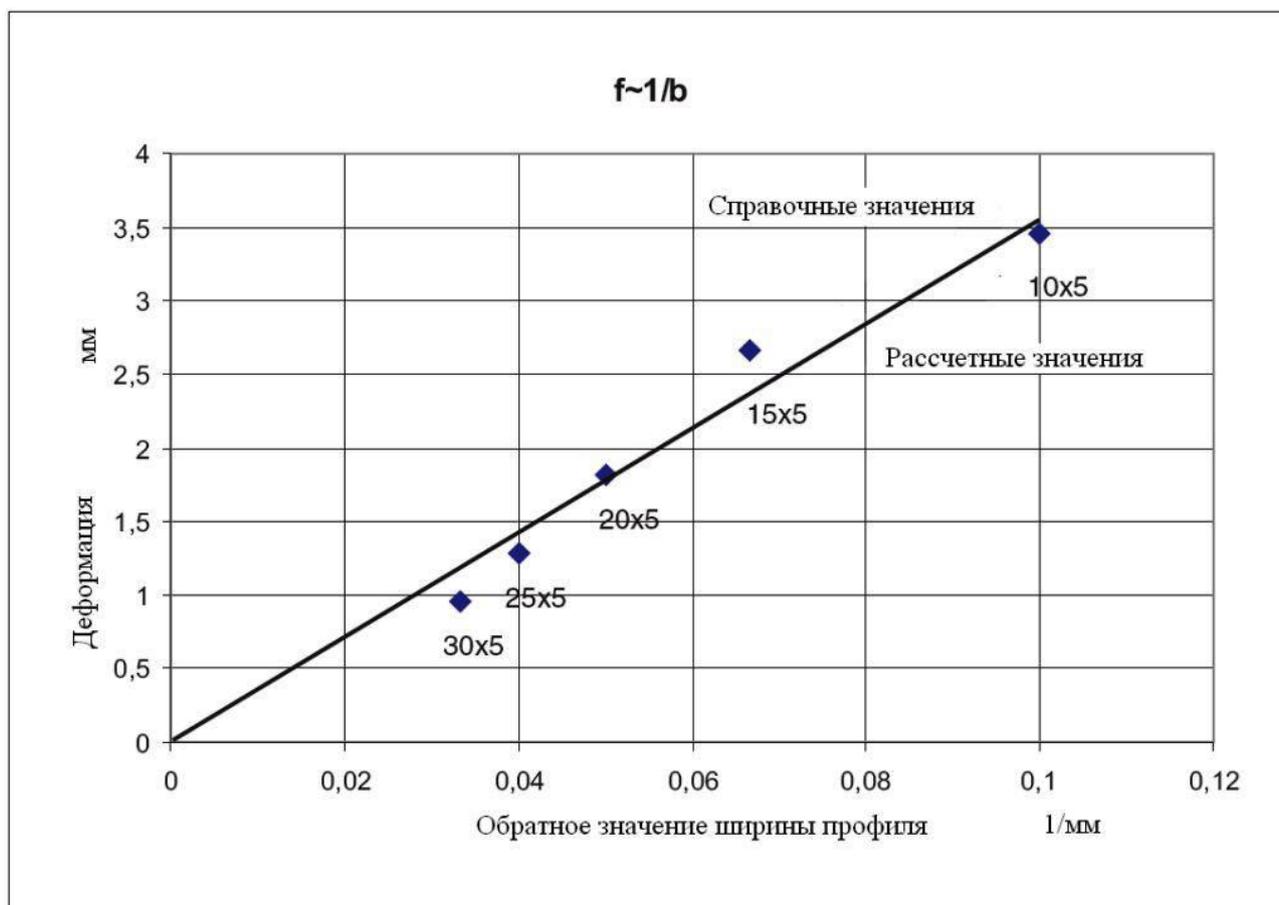


График 1. Зависимость деформации балки от ширины ее поперечного сечения

6.1.2. Исследование зависимости деформации балки от высоты ее поперечного сечения

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 формул (1) и (5), имеем

$$f = \frac{PL^3}{4Ebh^3}, \quad (8)$$

где

P – величина внешней нагрузки;

E – модуль упругости первого рода;

b – ширина поперечного сечения испытываемой балки;

h – высота поперечного сечения испытываемой балки.

Исходные данные

Испытываются **6** образцов шарнирно опертых балок (рис. 10), изготовленных из алюминия (*Al*), прямоугольного поперечного сечения с нормативной высотой $h = 3, 4, 5, 6, 8$ и 10 мм. Нормативная ширина поперечного сечения этих балок одинаковая и равна $b = 20$ мм. Нормативная длина испытываемых образцов $L_0 = 510$ мм. Внешняя нагрузка величиной $m = 1$ кг, следовательно $P = 9,81$ Н, прикладывается посередине пролета испытываемой балки.

Методика проведения эксперимента

Исследование зависимости деформации балки от высоты поперечного сечения для каждой из шести балок, изготовленных из алюминия с одинаковой нормативной шириной поперечного сечения $b = 20$ мм, производится в следующей последовательности:

1. Шарнирные опоры устанавливаем на расстоянии **500** мм. Нормативная длина балки при этом составляет $L_0 = 510$ мм.
2. Расчетные длины балок (пролет балки) $L = 500$ мм и $L/2 = 250$ мм предварительно отмечаем карандашом до проведения эксперимента (рис. 11).
3. Измеряем фактические размеры поперечного сечения балки (b и h) и заносим их в журнал испытаний № 2 (табл. 1).
4. Определяем по формуле (1) главные моменты инерции прямоугольного поперечного сечения испытываемых балок и заносим их в журнал испытаний № 2 (табл. 1).
5. Устанавливаем балку в держатель.
6. Обнуляем показания стрелочного индикатора.
7. Осторожно нагружаем балку нагрузкой в **1** кг.
8. Снимаем показания стрелочного индикатора $f^{\text{опыт}}$ и заносим их в журнал испытаний № 2 (табл. 1 и 2).

9. По формуле (8) вычисляем теоретическое значение прогиба $f^{\text{теор}}$ для испытываемой балки и заносим это значение в журнал испытаний № 2 (табл. 1).

10. Определяем погрешность между опытным $f^{\text{опыт}}$ и теоретическим $f^{\text{теор}}$ значениями прогиба испытываемой балки и заносим это значение в журнал испытаний № 2 (табл. 1). Для этого полученное опытным путем значение прогиба сравниваем с соответствующим теоретическим значением, вычисленным по формуле (8), расхождение между ними не должно превышать 5 %, то есть

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

11. По полученным в эксперименте значениям прогиба $f^{\text{опыт}}$ различных балок исследуем зависимость деформации балки от размеров высоты ее поперечного сечения. Из формулы (8) видно, что можно построить зависимость f от $1/h^3$.

Для этого:

– вычисляем обратные значения высоты испытываемых образцов $1/h^3$ и заносим их в журнал испытаний № 2 (табл. 2);

– по полученным значениям строим график 2, показывающий зависимость деформации балки от высоты ее поперечного сечения ($f \sim \frac{1}{h^3}$), для чего по оси абсцисс откладываем обратные значения высоты испытываемых образцов ($\frac{1}{h^3}$), а по оси ординат – соответствующие значения измеренных деформаций $f^{\text{опыт}}$ испытываемых балок (показания стрелочного индикатора).

Образец графика 2

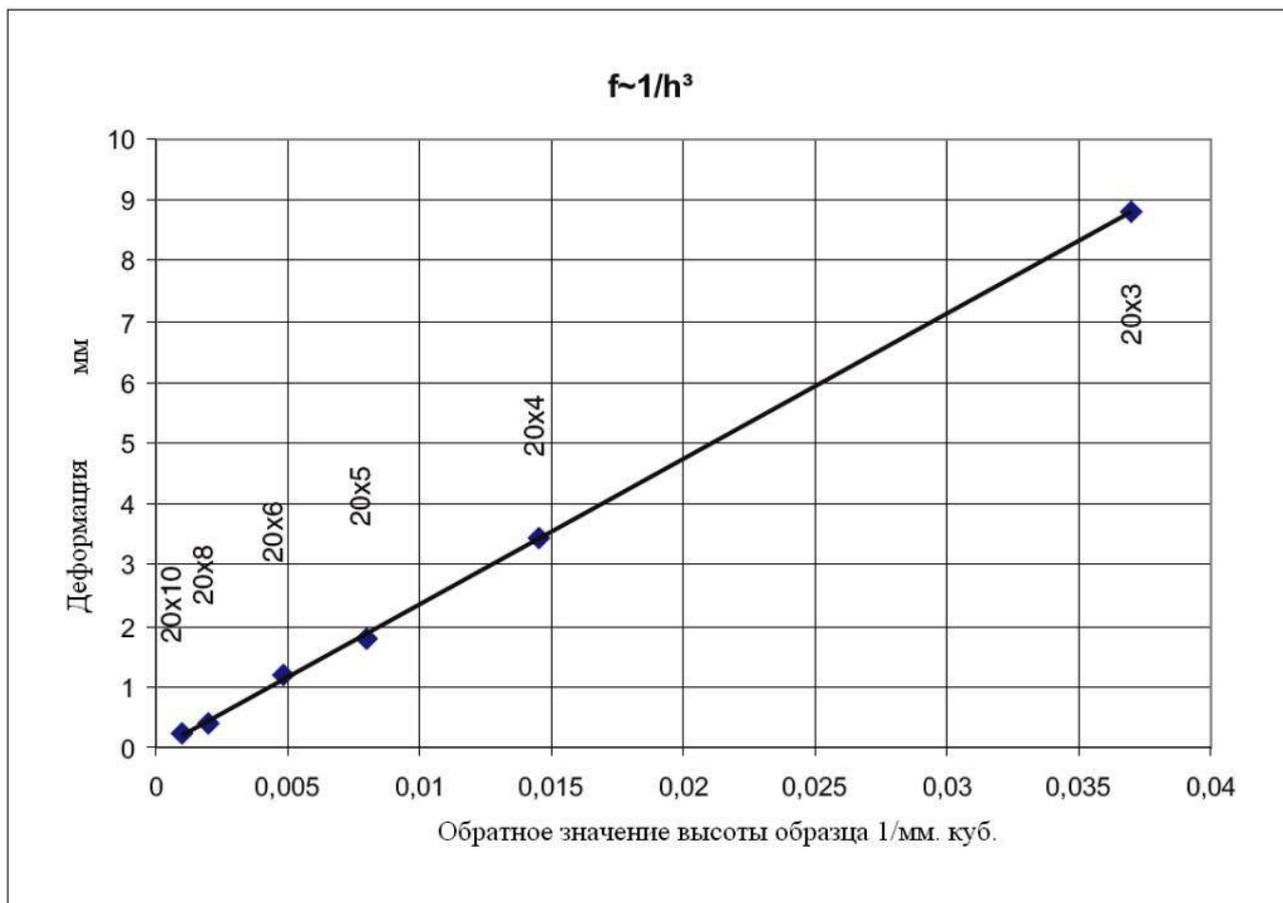


График 2. Зависимость деформации балки от высоты ее поперечного сечения

7. 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 заземленной балки при расчете балок на жесткость?

11. Какую величину называют жесткостью поперечного сечения балки при изгибе?

12. Что называется пролетом балки?

13. Что называется стрелой прогиба?

14. Как называется свисающая часть балки, расположенная слева (справа) от крайней опоры?

8. 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 испытания 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.

/Образец/

ОТЧЕТ

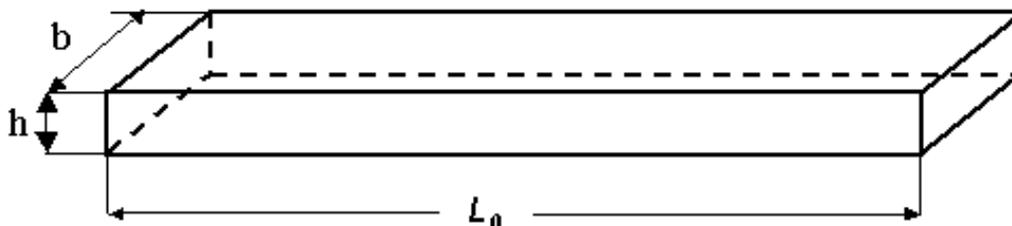
по лабораторной работе № _____

«Деформация балок при плоском изгибе»

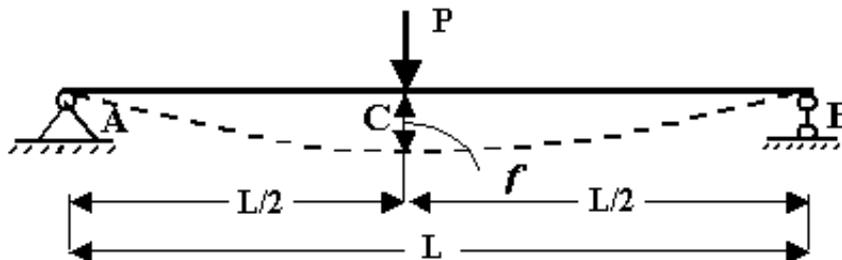
Дата проведения работы _____

1. Наименование машины – испытательная установка WP 100

2. Эскиз испытываемых образцов:



3. Расчетная схема испытываемой балки



Журнал испытаний № 1

«Исследование зависимости деформации балки от ширины ее поперечного сечения»

1. Характеристика испытываемых балок:

- материал испытываемых балок – алюминий (Al);
- модуль упругости первого рода $E = 0,700 \cdot 10^5$ Н/мм²;
- нормативная длина испытываемых балок $L_0 = 510$ мм;
- расчетная длина /пролет/ балок $L = 500$ мм;

- нормативная высота поперечного сечения испытываемых балок $h = 5,00$

мм.

2. Внешняя нагрузка $P = 9,81$ Н.

3. Обработка данных испытаний:

Измеряем фактические размеры поперечного сечения балки (b и h) и вычисляем по соответствующим формулам главный момент инерции поперечного сечения балки, теоретическое значение прогиба для испытываемой балки, погрешность между опытным и теоретическим значениями прогиба, обратные значения фактической ширины испытываемых образцов $1/b$ и заносим полученные значения в табл. 1 и табл. 2.

Эксперимент № 1 – фактические размеры поперечного сечения балки $b = 10,0$ мм; $h = 5,00$ мм:

– главный момент инерции поперечного сечения балки

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

– теоретическое значение прогиба для испытываемой балки

$$f_{\text{теор}} = \frac{PL^3}{4Ebh^3} =$$

– погрешность между опытным и теоретическим значениями прогиба испытываемой балки

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

– обратные значения ширины испытываемых образцов $1/b$

$$\frac{1}{b} =$$

Эксперимент № 2 – фактические размеры поперечного сечения балки $b = 15,0$ мм; $h = 5,00$ мм:

– главный момент инерции поперечного сечения балки

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

– теоретическое значение прогиба для испытываемой балки

$$f_{\text{теор}} = \frac{PL^3}{4Ebh^3} =$$

– погрешность между опытным и теоретическим значениями прогиба испытываемой балки

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

– обратные значения ширины испытываемых образцов $1/b$

$$\frac{1}{b} =$$

Эксперимент № 3 – фактические размеры поперечного сечения балки $b = 20,0$ мм; $h = 5,00$ мм:

– главный момент инерции поперечного сечения балки

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

– теоретическое значение прогиба для испытываемой балки

$$f_{\text{теор}} = \frac{PL^3}{4Ebh^3} =$$

– погрешность между опытным и теоретическим значениями прогиба испытываемой балки

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

– обратные значения ширины испытываемых образцов $1/b$

$$\frac{1}{b} =$$

Эксперимент № 4 – фактические размеры поперечного сечения балки $b = 25,0$ мм; $h = 5,00$ мм:

– главный момент инерции поперечного сечения балки

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

– теоретическое значение прогиба для испытываемой балки

$$f_{\text{теор}} = \frac{PL^3}{4Ebh^3} =$$

– погрешность между опытным и теоретическим значениями прогиба испытываемой балки

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

– обратные значения ширины испытываемых образцов $1/b$

$$\frac{1}{b} =$$

Эксперимент № 5 - фактические размеры поперечного сечения балки $b = 30,0$ мм; $h = 5,00$ мм:

– главный момент инерции поперечного сечения балки

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

– теоретическое значение прогиба для испытываемой балки

$$f_{\text{теор}} = \frac{PL^3}{4Ebh^3} =$$

– погрешность между опытным и теоретическим значениями прогиба испытываемой балки

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

– обратные значения ширины испытываемых образцов $1/b$

$$\frac{1}{b} =$$

Таблица 1

Фактические размеры сечения балки $b \times h$, в мм	Главный момент инерции I_y сечения испытываемой балки, в мм ⁴	Величина деформации балок $f^{опыт}$, полученная опытным путем (показания индикатора), в мм	Величина деформации балки $f^{теор}$, вычисленная по формуле, в мм	Погрешность между опытным и теоретическим значениями прогиба ($f^{теор}$ и $f^{опыт}$ в %
10,0 x 5,00				
15,0 x 5,00				
20,0 x 5,00				
25,0 x 5,00				
30,0 x 5,00				

Таблица 2

Сечение балки $b \times h$, в мм	10,0x5,00	15,0x5,00	20,0x5,00	25,0x5,00	30,0x5,00
Величина деформации балок $f^{опыт}$, полученная опытным путем (показания индикатора), в мм					
Обратные значения ширины испытываемых образцов $1/b$, в мм ⁻¹	0,100	0,067	0,050	0,040	0,033

4. Строим график 1, показывающий зависимость деформации балки от ширины ее поперечного сечения $f \sim \frac{1}{b}$.

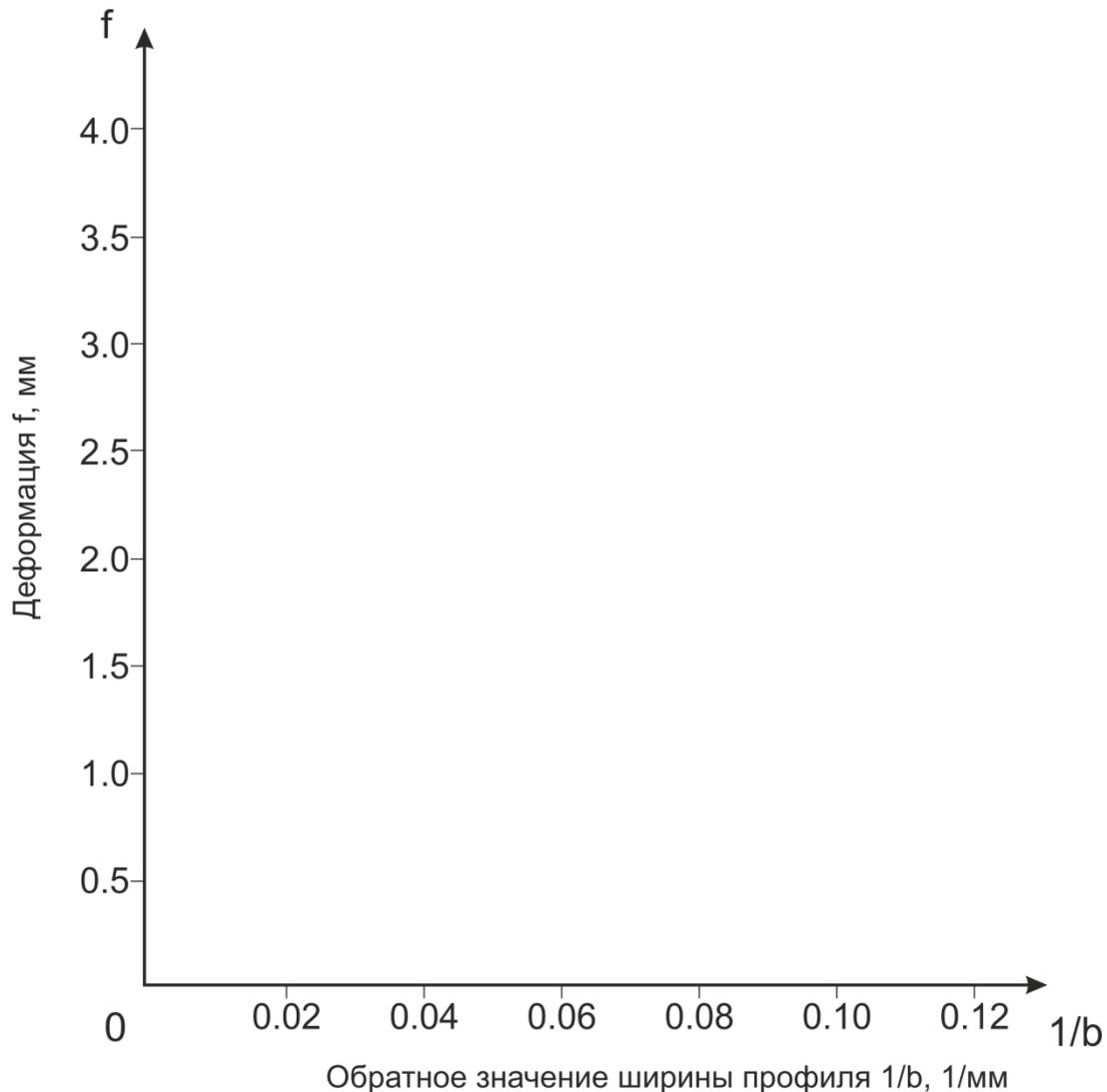


График 1. Зависимость деформации балки от ширины ее поперечного сечения

Журнал испытаний № 2

«Исследование зависимости деформации балки от высоты ее поперечного сечения»

1. Характеристика испытываемых балок:

- материал испытываемых балок – алюминий (Al);
- модуль упругости первого рода $E = 0,700 \cdot 10^5$ Н/мм²;

- нормативная длина испытываемых балок $L_0 = 510$ мм;
- расчетная длина /пролет/ балок $L = 500$ мм;
- нормативная ширина поперечного сечения испытываемых балок $b = 20,0$

мм.

2. Внешняя нагрузка $P = 9,81$ Н.

3. Обработка данных испытаний:

Измеряем фактические размеры поперечного сечения балки (b и h) и вычисляем по соответствующим формулам главный момент инерции поперечного сечения балки, теоретическое значение прогиба для испытываемой балки, погрешность между опытным и теоретическим значениями прогиба, обратные значения фактической высоты испытываемых образцов $1/h^3$ и заносим полученные значения в табл. 1 и табл. 2:

Эксперимент № 1 – фактические размеры поперечного сечения балки $h = 3,00$ мм; $b = 20,1$ мм:

– главный момент инерции поперечного сечения балки

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

– теоретическое значение прогиба для испытываемой балки

$$f_{\text{теор}} = \frac{PL^3}{4Ebh^3} =$$

– погрешность между опытным и теоретическим значениями прогиба испытываемой балки

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

– обратные значения высоты поперечного сечения испытываемой балки $1/h^3$

$$\frac{1}{h^3} =$$

Эксперимент № 2 – фактические размеры поперечного сечения балки $h = 4,00$ мм; $b = 20,0$ мм:

– главный момент инерции поперечного сечения балки

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

– теоретическое значение прогиба для испытываемой балки

$$f_{\text{теор}} = \frac{PL^3}{4Ebh^3} =$$

– погрешность между опытным и теоретическим значениями прогиба испытываемой балки

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

– обратные значения высоты поперечного сечения испытываемой балки $1/h^3$

$$\frac{1}{h^3} =$$

Эксперимент № 3 – фактические размеры поперечного сечения балки $h = 5,00$ мм; $b = 20,0$ мм:

– главный момент инерции поперечного сечения балки

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

– теоретическое значение прогиба для испытываемой балки

$$f_{\text{теор}} = \frac{PL^3}{4Ebh^3} =$$

– погрешность между опытным и теоретическим значениями прогиба испытываемой балки

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

– обратные значения высоты поперечного сечения испытываемой балки $1/h^3$

$$\frac{1}{h^3} =$$

Эксперимент № 4 – фактические размеры поперечного сечения балки $h = 6,10$ мм; $b = 20,2$ мм:

– главный момент инерции поперечного сечения балки

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

– теоретическое значение прогиба для испытываемой балки

$$f_{\text{теор}} = \frac{PL^3}{4Ebh^3} =$$

– погрешность между опытным и теоретическим значениями прогиба испытываемой балки

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

– обратные значения высоты поперечного сечения испытываемой балки $1/h^3$

$$\frac{1}{h^3} =$$

Эксперимент № 5 – фактические размеры поперечного сечения балки $h = 8,00$ мм; $b = 20,2$ мм:

– главный момент инерции поперечного сечения балки

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

– теоретическое значение прогиба для испытываемой балки

$$f_{\text{теор}} = \frac{PL^3}{4Ebh^3} =$$

– погрешность между опытным и теоретическим значениями прогиба испытываемой балки

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

– обратные значения высоты поперечного сечения испытываемой балки $1/h^3$

$$\frac{1}{h^3} =$$

Эксперимент № 6 – фактические размеры поперечного сечения балки $h = 10,0$ мм; $b = 20,0$ мм:

– главный момент инерции поперечного сечения балки

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

– теоретическое значение прогиба для испытываемой балки

$$f^{\text{теор}} = \frac{PL^3}{4Ebh^3} =$$

– погрешность между опытным и теоретическим значениями прогиба испытываемой балки

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

– обратные значения высоты поперечного сечения испытываемой балки $1/h^3$

$$\frac{1}{h^3} =$$

Таблица 1

Фактические размеры сечения балки $b \times h$, в мм	Главный момент инерции I_y сечения испытываемой балки, в мм ⁴	Величина деформации балок $f^{\text{опыт}}$, полученная опытным путем (показания индикатора), в мм	Величина деформации балок $f^{\text{теор}}$, вычисленная по формуле, в мм	Погрешность между опытным и теоретическими значениями прогиба ($f^{\text{теор}}$ и $f^{\text{опыт}}$), в %
20,1 x 3,00				
20,0 x 4,00				
20,0 x 5,00				
20,2 x 6,10				
20,2 x 8,00				

20,0 x 10,0				
-------------	--	--	--	--

Таблица 2

Сечение балки $b \times h$, в мм	20,1x3,00	20,0x4,00	20,0x5,00	20,2x6,10	20,2x8,00	20,0x10,0
Величина деформации балок $f_{опыт}$, полученная опытным путем (показания индикатора), в мм						
Обратные значения высоты испытываемых образцов $1/h^3$, в мм ⁻³	0,0370	0,0156	0,0080	0,0044	0,0019	0,0010

4. Строим график 2, показывающий зависимость деформации балок от высоты ее поперечного сечения $f \sim \frac{1}{h^3}$.

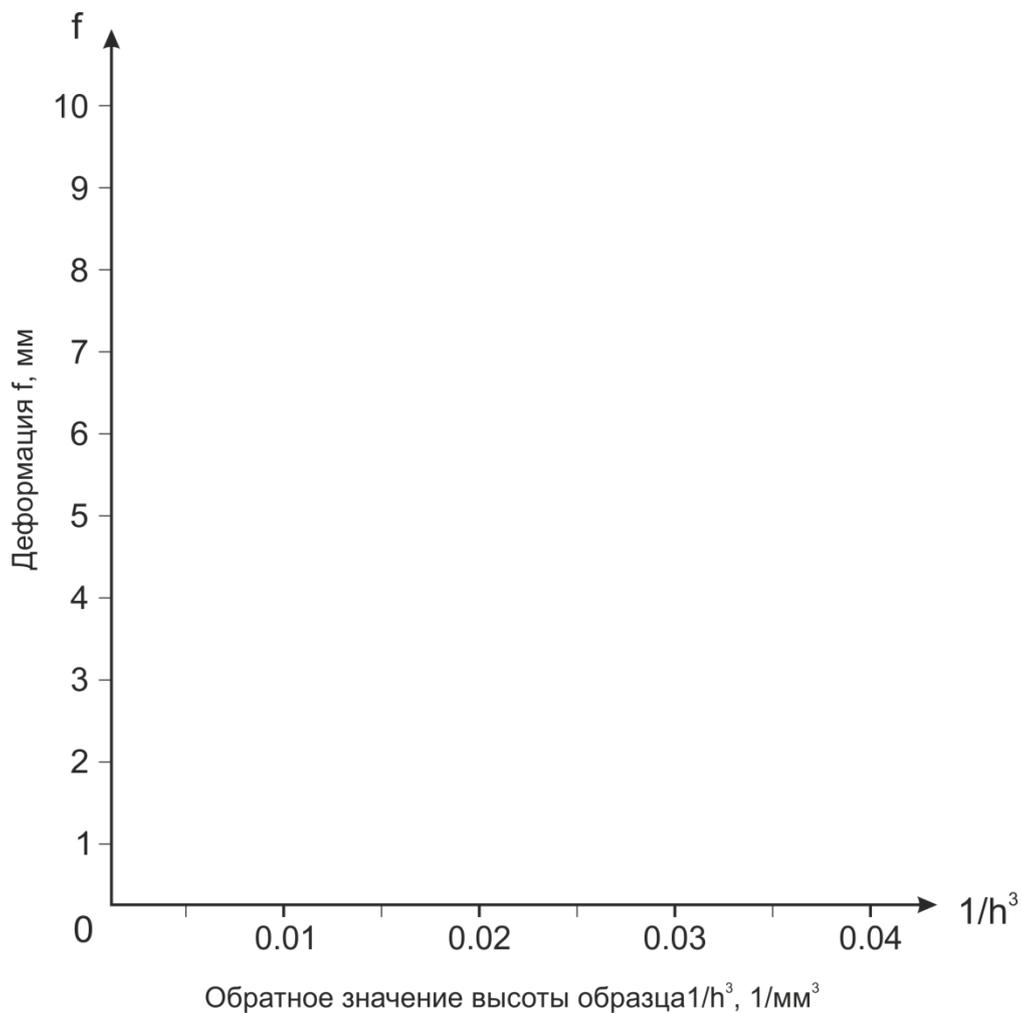


График 2. Зависимость деформации балки от высоты ее поперечного сечения



*/Образец оформления
титального листа лабораторной работы/*

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра «Сопротивление материалов»

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА
по сопротивлению материалов
на тему:
«Деформация балок при плоском изгибе»**

Выполнил студент группы _____

(Ф.И.О.)

Принял _____

(Ф.И.О.)

**Ростов-на-Дону
2019 год**