



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

Практикум по выполнению лабораторной работы

по дисциплинам
«Сопротивление материалов» и
«Специальные вопросы сопротивления
материалов»

«Деформация балок при плоском изгибе» (Часть V)

Автор
Еремин В.Д.

Ростов-на-Дону, 2026

Аннотация

Практикум предназначен для студентов очной и очно-заочной форм обучения направлений 08.03.01 «Строительство», 07.03.01 «Архитектура», 08.05.01 «Строительство уникальных зданий и сооружений» и т.д.

Автор

канд. техн. наук, доцент кафедры «Строительная механика и теория сооружений»
Еремин В.Д.



Оглавление

Введение.....	4
Общие методические указания по проведению лабораторной работы и оформлению отчета.....	7
Критерии оценки лабораторной работы.....	10
Учебно-исследовательская лабораторная работа «деформация балок при плоском изгибе».....	12
1. Цель работы.....	12
2. Рабочее задание.....	12
3. Материально-техническое обеспечение работы.....	12
4. Испытываемые образцы.....	16
5. Описание эксперимента на изгиб.....	16
6. Основные теоретические положения.....	19
7. Порядок проведения испытаний.....	27
Инструкция по технике безопасности при выполнении лабораторных работ.....	32
Контрольные вопросы.....	33
Перечень рекомендуемых информационных ресурсов.....	34
Приложение А. Образец отчета по лабораторной работе.....	36
Приложение Б. Образец оформления титульного листа лабораторной работы.....	44

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторная работа – это один из основных видов работ обучающихся и важный этап их профессиональной подготовки.

Проведение студентами лабораторных работ по сопротивлению материалов ставит своей целью изучение свойств материалов и экспериментальную проверку теоретических выводов сопротивления материалов.

В связи с этим, основными целями лабораторных работ являются расширение и углубление знаний обучающихся, выработка умений и навыков самостоятельно выполнять эксперименты, выработка приемов и навыков в анализе теоретического и практического материала, использования известных закономерностей и статистической обработке экспериментального материала, его аналитического и графического представления, а также обучение логично, правильно, ясно, последовательно и кратко излагать свои мысли в письменном виде.

Обучающиеся при выполнении лабораторной работы должны показать умение работать с литературой, давать сравнительный анализ известных экспериментальных данных по теме лабораторной работы, обрабатывать массив экспериментальных данных и, главное, – правильно интерпретировать полученные результаты.

Лабораторный практикум содержит краткое описание экспериментальной установки и испытываемых образцов, изложен порядок проведения и обработки результатов испытаний, основные теоретические положения и контрольные вопросы, необходимые для

проведения и защиты учебно-исследовательской лабораторной работы «Деформация балок при плоском изгибе (Часть V)» по дисциплинам «Сопротивление материалов» и «Специальные вопросы сопротивления материалов».

Настоящий практикум ставит своей задачей ознакомление обучающихся, изучающих общий курс сопротивления материалов, с вопросами экспериментального исследования деформаций балок, имеющих одинаковую площадь поперечного сечения, но разные профили.

К выполнению лабораторных работ допускаются студенты, прошедшие вводный инструктаж и инструктаж на рабочем месте по технике безопасности и противопожарным мероприятиям.

Для получения зачета по выполненной лабораторной работе каждый студент оформляет отчет.

Отчет по лабораторной работе должен быть оформлен согласно Приказу ректора университета № 242 от 16.12.2020 г. «Правила оформления письменных работ обучающихся для технических направлений подготовки».

Проверка отчетов преподавателем, а также защита студентами лабораторных работ производится индивидуально в конце лабораторного занятия по контрольным вопросам к лабораторной работе в форме собеседования.

Перечень контрольных вопросов для защиты лабораторной работы приведен в настоящем практикуме по ее выполнению.

Если студент не успел оформить отчет, либо защитить лабораторную работу, то окончательное

оформление отчета он производит самостоятельно, вне аудиторной работы, и защита производится на консультациях у преподавателя, за которым закреплены данные лабораторные работы, но не позднее, чем за три дня до начала зачетной недели или не позднее 5 рабочих дней до начала промежуточной аттестации по данному предмету.

Практикум предназначен для студентов всех форм обучения 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.

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ И ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА

Отчет по лабораторной работе выполняется согласно макету, размещенному в Приложении А к настоящему практикуму.

Объем отчета по лабораторной работе обычно не превышает 3-10 страниц. Отчет должен соответствовать рекомендуемому содержанию, быть понятным, кратким, лаконичным, написанным без произвольных сокращений.

Отчет по лабораторной работе в качестве структурных элементов должен включать в себя: титульный лист (Приложение Б), цель работы, рабочее задание, перечень материально-технического обеспечения работы, разделы основной части (журналы испытаний), приложения (при необходимости). В конце отчета приводятся выводы по проделанной работе.

Нельзя приступать к проведению лабораторной работы, не разобравшись предварительно по учебнику или конспекту лекций в теории, связанной с темой работы.

Все расчеты в отчете по лабораторной работе необходимо вести очень четко и аккуратно, с предельной внимательностью, сначала в общем виде, затем в числах.

Расчет на всех его этапах надо сопровождать необходимыми схемами и чертежами, выполненными с обязательным соблюдением масштабов.

Все вычисления достаточно производить с точностью до третьей значащей цифры.

Отчет по лабораторной работе должен быть выполнен в текстовом редакторе на листах писчей бумаги формата А 4 и оформлен согласно Приказу ректора университета № 242 от 16.12.2020 г. «Правила оформления письменных работ обучающихся для технических направлений подготовки».

Если содержание отчета по лабораторной работе отвечает предъявляемым требованиям, то работа допускается к защите.

При неудовлетворительном выполнении лабораторной работы отчет возвращается обучающемуся на доработку.

Отчет защищается в форме собеседования устным ответом на контрольные вопросы по выбору преподавателя.

Проверка отчетов преподавателем, а также защита студентами лабораторных работ производится индивидуально в конце лабораторного занятия и на консультациях по контрольным вопросам к лабораторной работе в форме собеседования.

Перечень контрольных вопросов для защиты лабораторной работы приведен в настоящем практикуме по ее выполнению.

После проверки отчета по лабораторной работе преподавателем и его защиты отчет сканируется и его оригинал сдается на кафедру.

Требования по форматированию текста отчета:
- шрифт Times New Roman;

- интервал – полуторный;
- поля левое – 3 см., правое – 1,5 см., верхнее и нижнее – 2 см;
- абзацный отступ – 1,25;
- текст должен быть выровнен по ширине.

На все рисунки и таблицы должны быть приведены ссылки в тексте, при этом следует писать слова «рисунок», «таблица» полностью с указанием номера.

Каждый рисунок должен располагаться по центру страницы, иметь подпись (Рисунок 1 – Окно интерфейса).

КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Критерий	Показатель	Максимальное количество баллов
Выполнение 5 лабораторных работ	<ul style="list-style-type: none"> - освоение типовой методики проведения лабораторной работы, с использованием необходимого оборудования, включая подготовку образцов. 	1,2
Подготовка отчета по лабораторным работам. Соблюдение требований по оформлению отчета.	<ul style="list-style-type: none"> - краткое теоретическое описание физических основ используемого метода, включающее этапы проведения испытания образцов; - достоверность полученных данных; - правильность статистической обработки массива экспериментальных данных; - наглядность представления полученных результатов (табличное, графическое, аналитическое); - логичность, обоснованность сделанных в работе выводов; 	1,8

	<ul style="list-style-type: none"> - правильное оформление текста отчета, грамотность и культура изложения; - правильность оформления графического материала с указанием единиц измерения величин. 	
Защита 5 лабораторных работ	<ul style="list-style-type: none"> - правильность и полнота ответов, их обоснованность; - анализ недостатков и достоинств использованного метода исследования. 	3,0

Отчет рассматривается как критерий оценки только при выполнении студентом лабораторной работы.

Студент не допускается к защите лабораторной работы без ее выполнения и/или при отсутствии отчета.

Всего в семестре проводятся пять лабораторных работ.

Каждая лабораторная работа оценивается в **1,2** балла, следовательно, в каждом семестре студент может получить максимум **6** баллов за лабораторные работы.

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

1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Ознакомление студентов, изучающих общий курс сопротивления материалов, с вопросами экспериментального исследования деформаций балок, имеющих одинаковую площадь поперечного сечения, но разные профили.

2 РАБОЧЕЕ ЗАДАНИЕ

Для реализации цели учебно-исследовательской лабораторной работы необходимо решить следующие задачи:

- Изучить влияние разных профилей балки на величину ее прогиба при постоянных нагрузках и площади поперечного сечения.
- Приобрести практические навыки по проведению испытаний и обработке полученных результатов проведенного эксперимента.

3 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТЫ

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 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 рисунке 1.

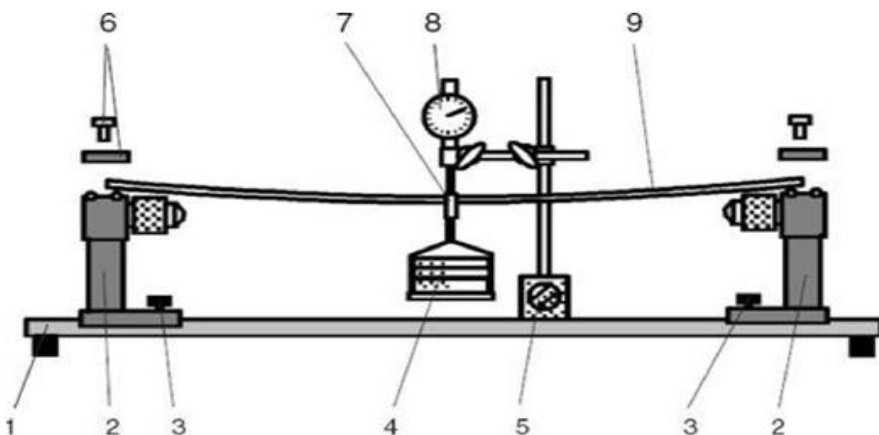


Рисунок 1 - Схема испытательной машины WP 100

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.

4 ИСПЫТЫВАЕМЫЕ ОБРАЗЦЫ

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

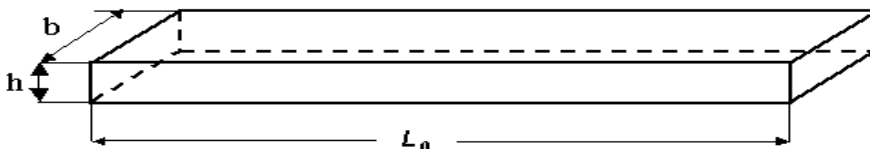


Рисунок 2 - Эскиз испытываемых образцов

Имеется следующий комплект балок для проведения испытаний на изгиб:

Материал балки	Размеры сечения $b \times h$, мм	Длина балки L_0 , мм
Алюминий / Al/	20×5	510
Алюминий / Al/	20×10	510
Алюминий / Al/	10×10	510

5 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 (рисунок 3).

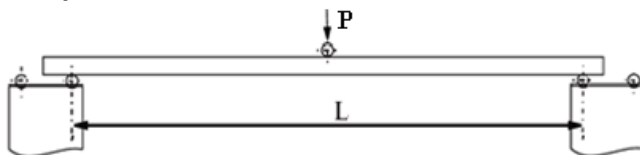


Рисунок 3 - Цилиндрические опоры и передача сил при изгибе

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

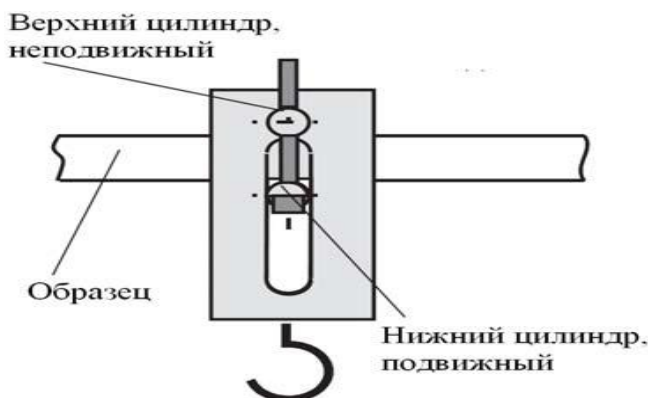


Рисунок 4 - Элемент для передачи нагрузки

Например, при проведении испытания консольной жестко закрепленной балки ее пролет L точно задан и

элемент передачи усилия не скользит даже при ее значительных отклонениях (рисунок 5).



Рисунок 5 - Консольная балка

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

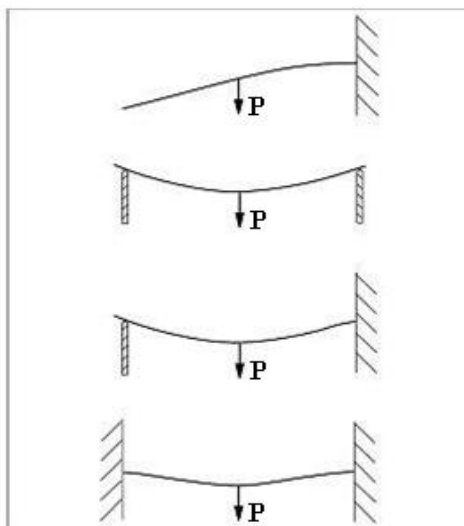


Рисунок 6 - Варианты прикладываемых нагрузок

- 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.

6 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 ($M_{изг}$) – это чистый изгиб.

Изгиб называют поперечным, если в поперечных сечениях балки возникают изгибающие моменты ($M_{изг}$) 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 (рисунки 7 и 8).

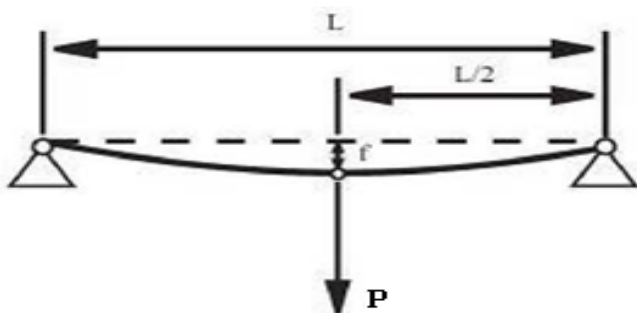


Рисунок 7 - Шарнирно опертая балка

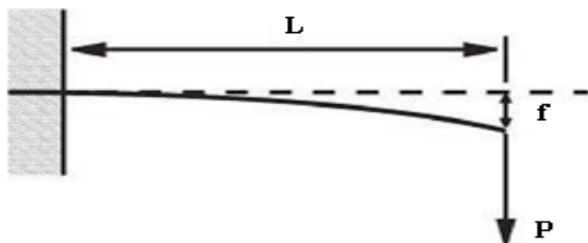


Рисунок 8 - Жестко зашeмленная (консольная) балка

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

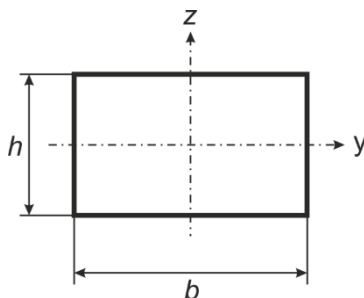
При одинаковой площади сечения и одном и том же материале стержня его сопротивление растяжению или сжатию не зависит от формы и расположения сечения относительно главных центральных осей и оказывается одинаковым.

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:

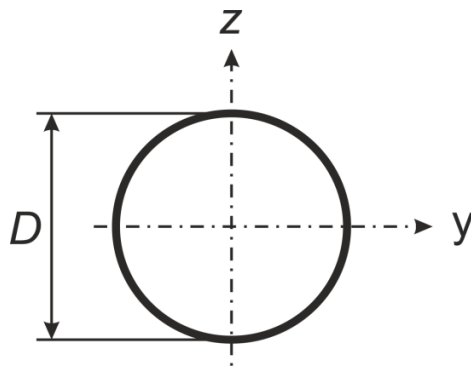
• Образец с прямоугольным сечением:



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

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

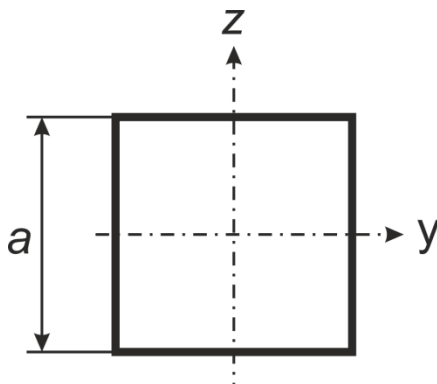
- Образец с круглым сечением:



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

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

- 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 (рисунок 9).

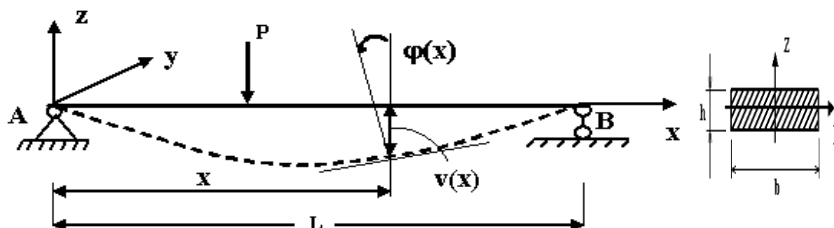


Рисунок 9 - Деформация балки при изгибе

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 рисунке 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):

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

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

- 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:

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

- 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 (рисунк 9) граничные условия характеризуют отсутствие прогибов на опорах:

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

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

• деформация шарнирно опертой балки (рисунок 7):

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

• деформация жестко защемленной (консольной) балки (рисунок 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.

7 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

«ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ БАЛОК, ИМЕЮЩИХ ОДИНАКОВУЮ ПЛОЩАДЬ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ, НО РАЗНЫЕ ПРОФИЛИ»

Для однопролетной шарнирно опертой балки с длиной пролета $L = 500 \text{ мм}$, схема которой показана на рисунке 10, опытным путем определяем величину прогиба (f) посредине пролета.

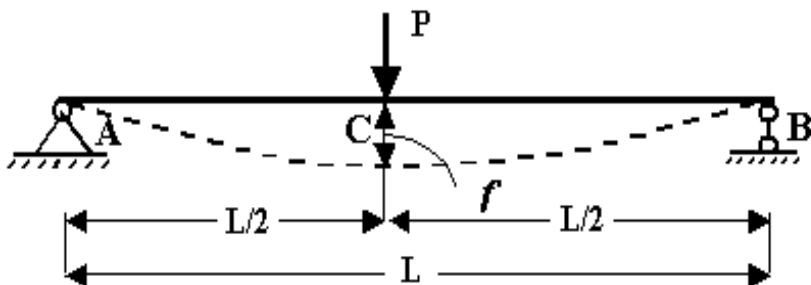


Рисунок 10 - Расчетная схема испытываемой балки

На основании формул (5), имеем:

$$f_z = \frac{PL^3}{48EI_y} \quad \text{и} \quad f_y = \frac{PL^3}{48EI_z},$$

где P – величина внешней нагрузки;

L – расчетная длина испытываемой балки (расстояние между опорами);

EI_y и EI_z – жесткости испытываемой балки.

Исходные данные:

Испытываются образцы шарнирно опертой балки (рисунок 10), изготовленные из алюминия (**Al**).

Первая балка имеет прямоугольное поперечное сечение с нормативными размерами **$b \times h = 20 \times 10$ мм**, вторая балка имеет квадратное поперечное сечение с нормативным размером **$a = 10$ мм**, третья балка имеет прямоугольное поперечное сечение с нормативными размерами **$b \times h = 20 \times 5$ мм**.

Нормативная длина испытываемых образцов равна **$L_0 = 510$ мм**.

Внешняя нагрузка величиной $m = 2 \text{ кг}$, следовательно $P = 2 \times 9,81 = 19,6 \text{ Н}$, прикладывается посередине пролета испытываемой балки.

Методика проведения эксперимента:

Исследование деформаций балок, имеющих одинаковую площадь поперечного сечения, но разные профили, производится в следующей последовательности:

1. Расчетные длины балок (пролет балки) $L = 500 \text{ мм}$, а также $L/2 = 250 \text{ мм}$ предварительно отмечаем карандашом до проведения эксперимента (рисунок 11).

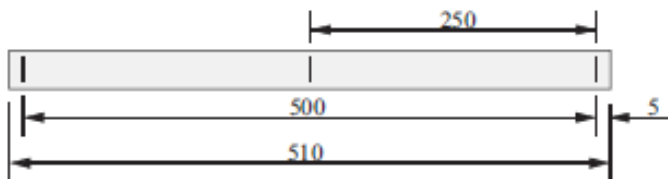


Рисунок 11 - Испытываемая балка с метками

2. Шарнирные опоры устанавливаем на расстоянии **500 мм**. Нормативная длина испытываемой балки при этом составляет $L_0 = 510 \text{ мм}$.

3. Измеряем фактические размеры поперечного сечения испытываемых балок (b , h , a) и заносим их в журнал испытаний (Приложение А, таблица 1).

4. Определяем фактическую площадь прямоугольного и квадратного поперечных сечений испытываемых образцов и заносим полученные значения в журнал испытаний (Приложение А, таблица 2).

5. Определяем по формулам (1) и (3) фактические главные моменты инерции прямоугольных и

квадратного поперечных сечений испытываемых образцов и заносим полученные значения в журнал испытаний (Приложение А, таблица 1).

6. Вычисляем фактические жесткости балок при изгибе EI_y и EI_z и заносим полученные значения в журнал испытаний (Приложение А, таблица 1).

7. Устанавливаем испытываемую балку в держатель.

8. Обнуляем показания стрелочного индикатора.

9. Осторожно нагружаем балку нагрузкой в **2 кг**.

Причем, испытываемая балка **№ 1** с нормативным прямоугольным поперечным сечением **$b \times h = 20 \times 10$ мм** сначала нагружается по одной главной оси **z**, потом нагружается по другой главной оси **y**.

Главные моменты инерции этой балки по двум осям **z** и **y** различные, а площадь поперечного сечения балки при этом остается постоянной.

10. Снимаем показания стрелочного индикатора $f_{\text{опыт}}$ после очередного приложения внешней нагрузки и заносим их в журнал испытаний (Приложение А, таблица 2).

11. По формулам (5) вычисляем теоретическое значение прогиба $f^{\text{теор}}$ для испытываемой балки и заносим это значение в журнал испытаний (Приложение А, таблица 2).

12. Определяем погрешность между опытным $f_{\text{опыт}}$ и теоретическим $f^{\text{теор}}$ значениями прогиба испытываемой балки и заносим это значение в журнал испытаний (Приложение А, таблица 2).

Для этого полученное опытным путем значение прогиба сравниваем с соответствующим теоретическим значением, вычисленным по формуле (5).

Расхождение между ними не должно превышать **5 %**, то есть

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

13. По полученным в экспериментах значениям прогиба $f^{\text{опыт}}$ производим сравнение деформаций балок, имеющих одинаковую площадь поперечного сечения, но разные профили (Приложение А, таблица 2).

ИНСТРУКЦИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ



1. Необходимо внимательно изучить содержание и порядок проведения лабораторной работы.

2. Необходимо точно выполнять все указания преподавателя при проведении лабораторной работы, без его разрешения не выполнять самостоятельно никаких работ.

3. Запрещается устанавливать образец и приводить в действие испытательную установку без разрешения преподавателя.

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 0,5 м.

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

9. При работе с ПЭВМ возможно воздействие на работающих следующих опасных и вредных производственных факторов:

- электромагнитные излучения видеомониторов (видимые и невидимые, ионизирующие и неионизирующие);
- поражение электрическим током при работе на оборудовании без защитного заземления;
- зрительное утомление, а также неблагоприятное воздействие на зрение мерцаний символов и фона при неустойчивой работе видеомонитора, нечетком изображении на экране.

10. При работающем видеомониторе расстояние от глаз до экрана должно быть 0,6-0,7 м, уровень глаз должен приходиться на центр экрана или $\frac{2}{3}$ его высоты.

11. Необходимо соблюдать правила пожарной безопасности, знать места расположения первичных средств пожаротушения.

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 жестко зашеченной 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?

ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ

1. Александров А.В. Сопротивление материалов: учебник / А.В. Александров, В.Д. Потапов. – Москва: Высшая школа, 2011. – 560 с. – Текст: непосредственный.

2. Варданян Г.С. Сопротивление материалов (с основами строительной механики): учебник / Г.С. Варданян, Н.М. Атаров. – Москва: ИНФРА-М, 2011. 480 с. – Текст: непосредственный.

3. Еремин В.Д. Определение внутренних усилий, напряжений и перемещений. Расчет балок и плоских рам на жесткость: учебное пособие / В.Д. Еремин, А.А. Аваков, А.С. Чепурненко; Донской государственный технический университет. – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2021. – 162 с. – Текст: непосредственный.

4. Еремин В.Д. Специальные вопросы сопротивления материалов: учебное пособие / В.Д. Еремин, С.В. Литвинов, А.И. Притыкин; Донской государственный технический университет. – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2023. – 225 с. – Текст: непосредственный.

5. Еремин В.Д. Специальные вопросы сопротивления материалов в строительстве: учебное пособие / В.Д. Еремин, С.В. Литвинов; Донской государственный технический университет. – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2024. – 106 с. – Текст: непосредственный.

6. Степин П.А. Сопротивление материалов: учебник / П.А. Степин. – Санкт-Петербург: Лань, 2010. 319 с. – Текст: непосредственный.

7. Копнов В.А. Сопротивление материалов: Руководство для решения задач и выполнения лабораторных и расчетно-графических работ / В.А. Копнов, С.Н. Кривошапко. – Москва: Высшая школа, 2003. 351 с. – Текст: непосредственный.

8. Тимофеев С.И. Сопротивление материалов: учебник / С.И. Тимофеев. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2014. 335 с. – Текст: непосредственный.

Приложение А

Образец отчета по лабораторной работе

ОТЧЕТ

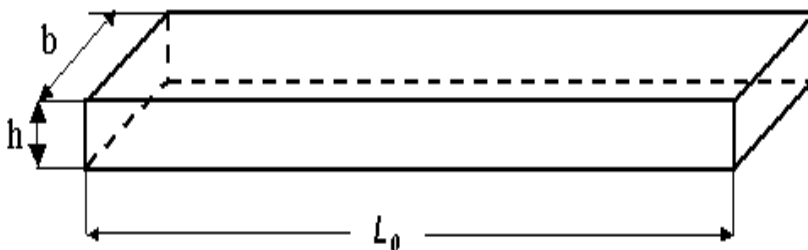
по лабораторной работе № ____

«Деформация балок при плоском изгибе»

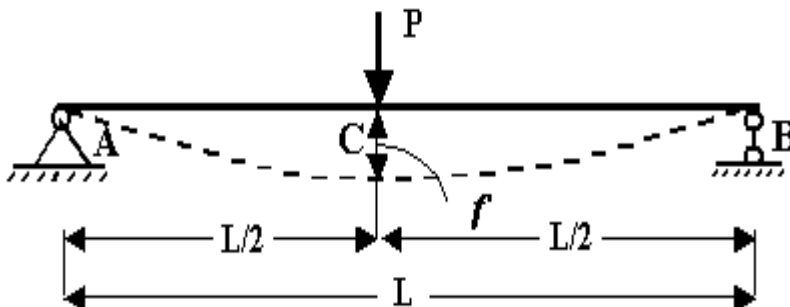
Дата проведения работы _____

1. Наименование машины - испытательная машина
WP 100.

2. Эскиз испытываемых образцов:



3. Расчетная схема испытываемой балки:



ЖУРНАЛ ИСПЫТАНИЙ

«Исследование деформаций балок, имеющих одинаковую площадь поперечного сечения, но разные профили»

1. Характеристика испытываемых балок:

- материал испытываемых балок - алюминий (Al);
- модуль упругости первого рода $E = 0,700 \cdot 10^5$ Н/мм²;
- нормативная длина испытываемой балки $L_0 = 510$ мм;
- расчетная длина балки (пролет балки) $L = 500$ мм;
- нормативные размеры поперечного сечения балок:
 - испытываемая балка № 1: $b = 20,0$ мм; $h = 10,0$ мм.
 - испытываемая балка № 2: $b = 20,0$ мм; $h = 10,0$ мм;
 - испытываемая балка № 3: $a = 10,0$ мм;
 - испытываемая балка № 4: $b = 20,0$ мм; $h = 5,00$ мм;

2. Внешняя нагрузка $P = 2 \times 9,81 = 19,6$ Н.

3. Обработка данных испытаний:

Вычисляем по соответствующим формулам фактическую площадь поперечного сечения балки, главные

моменты инерции поперечного сечения балки I_y и I_z , фактическую жесткость испытываемых балок EI_y и EI_z , теоретическое значение прогиба для испытываемой балки, погрешность между опытным и теоретическим значениями прогиба и заносим полученные значения в таблицу 1 и таблицу 2.

Эксперимент № 1 – балка прямоугольного поперечного сечения. Фактические размеры поперечного сечения балки $b = \underline{\hspace{2cm}}$ мм; $h = \underline{\hspace{2cm}}$ мм:

– фактическая площадь поперечного сечения балки:

$$A = b \cdot h =$$

– главный момент инерции поперечного сечения балки:

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

– фактическая жесткость испытываемой балки:

$$EI_y =$$

– теоретическое значение прогиба для испытываемой балки:

$$f_{\text{теор}} = \frac{PL^3}{48EI_y} =$$

– погрешность между опытным и теоретическим значениями прогиба испытываемой балки:

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

Эксперимент № 2 – балка прямоугольного поперечного сечения. Фактические размеры поперечного сечения балки $b = \underline{\hspace{1cm}}$ мм; $h = \underline{\hspace{1cm}}$ мм:

– фактическая площадь поперечного сечения балки:

$$A = b \cdot h =$$

– главный момент инерции поперечного сечения балки:

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

– фактическая жесткость испытываемой балки:

$$EI_z =$$

– теоретическое значение прогиба для испытываемой балки:

$$f_{\text{теор}} = \frac{PL^3}{48EI_z} =$$

– погрешность между опытным и теоретическим значениями прогиба испытываемой балки:

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

Эксперимент № 3 – балка квадратного поперечного сечения. Фактический размер поперечного сечения балки $a = \underline{\hspace{1cm}}$ мм:

– фактическая площадь поперечного сечения балки:

$$A = a^2 =$$

– главный момент инерции поперечного сечения балки:

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

– фактическая жесткость испытываемой балки:

$$EI_y =$$

– теоретическое значение прогиба для испытываемой балки:

$$f_{\text{теор}} = \frac{PL^3}{48EI_y} =$$

– погрешность между опытным и теоретическим значениями прогиба испытываемой балки:

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

Эксперимент № 4 – балка прямоугольного поперечного сечения. Фактические размеры поперечного сечения балки $b = \underline{\hspace{2cm}}$ мм; $h = \underline{\hspace{2cm}}$ мм:

– фактическая площадь поперечного сечения балки:

$$A = b \cdot h =$$

– главный момент инерции поперечного сечения балки:

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

– фактическая жесткость испытываемой балки:

$$EI_y =$$

– теоретическое значение прогиба для испытываемой балки:

$$f_{\text{теор}} = \frac{PL^3}{48EI_y} =$$

– погрешность между опытным и теоретическим значениями прогиба испытываемой балки:

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

Таблица 1

Пролет испытываемой балки L, в мм	Фактические размеры сечения балки b x h, в мм	Главный момент инерции I _y сечения испытываемой балки, в мм ⁴	Главный момент инерции I _z сечения испытываемой балки, в мм ⁴	Фактическая жесткость испытываемой балки, в Н·мм ²
500			-	
500		-		
500			-	
500			-	

Таблица 2

Фактические размеры сечения балки $b \times h$, в мм				
Фактическая площадь поперечного сечения балки, в мм^2				
Фактическая жесткость испытываемой балки, в $\text{Н} \cdot \text{мм}^2$				
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 теорети- ческим значениями прогиба $(f^{\text{теор}} \text{ и } f^{\text{опыт}})$, в %				
--	--	--	--	--

ВЫВОДЫ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ:



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_____