



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

Практикум

для проведения лабораторных работ
на тему «Испытание на изгиб консольной
балки»
по дисциплинам

**«Сопротивление материалов»,
«Механика» и
«Теоретическая механика»**

АВТОРЫ

Маяцкая И. А.,
Языев Б. М.

Ростов-на-Дону, 2024

Аннотация

Практикум содержит основные теоретические положения, необходимые для проведения учебно-исследовательской лабораторной работы «Испытание на изгиб консольной балки» по дисциплинам сопротивление материалов, специальные вопросы сопротивления материалов, механика, теоретическая механика для архитекторов, строительная механика для архитекторов, дано описание испытательной установки и образца, изложен порядок проведения лабораторной работы 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; 07.03.01 –Архитектура; 07.03.02 –Реконструкция и реставрация архитектурного наследия; 07.03.04 –Градостроительство; 23.03.03 –Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов; 29.03.04 –Технология художественной обработки материалов и специальностям: 08.05.01 –Строительство уникальных зданий; 08.05.02 –Строительство, эксплуатация, восстановление и техническое прикрытие автомобильных дорог, мостов и тоннелей; 21.05.01 –Прикладная геодезия; 23.05.01 – Наземные транспортно-технологические средства.

Авторы

к.т.н., доцент кафедры «Сопротивление материалов»
Маяцкая И.А.

д.т.н., профессор кафедры «Сопротивление материалов»
Языев Б.М.





Оглавление

ИСПЫТАНИЕ НА ИЗГИБ КОНСОЛЬНОЙ БАЛКИ.....	2
1. Цель работы	2
2. Общие сведения	2
3. Краткие теоретические понятия, определения и основные формулы	4
4. Порядок проведения лабораторной работы	7
5. Обработка результатов испытаний	8
6. Контрольные вопросы.....	9
7. Основные правила техники безопасности.	11
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	12
ПРИЛОЖЕНИЕ 2.....	18

ИСПЫТАНИЕ НА ИЗГИБ КОНСОЛЬНОЙ БАЛКИ

1. Цель работы

Изучение измерительных приборов и лабораторного оборудования, применяемых при статических испытаниях конструкций на изгиб. Ознакомление с методикой проведения испытаний на поперечный изгиб консольной балки. Измерение деформаций, возникающих при поперечном изгибе.

2. Общие сведения

Одним из основных методов механических испытаний являются испытания на статический изгиб. Такие испытания важны для оценки деформационно-прочностных характеристик хрупких стеклообразных материалов, которые трудно испытывать как на растяжение, так и на сжатие в связи с развитием очень малых деформаций до разрушения.

При испытаниях полимерных материалов на статический изгиб в основном используется трёхточечная схема нагружения (рис.1).

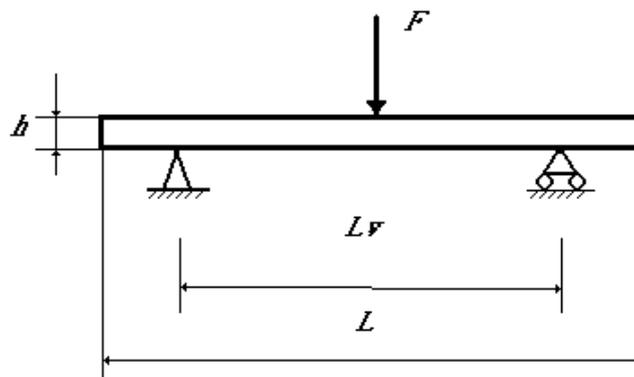


Рис.1. Схема нагружения образца при испытании на изгиб: F – текущее значение нагрузки; h – толщина образца; L – длина образца; L_v - расстояние между опорами.

Испытание предусматривает определение прочностных и деформационных параметров образца прямоугольного поперечного сечения в виде балки, которая свободно лежит на двух опорах и на середину которой

действует сосредоточенная нагрузка перпендикулярно плоскости образца. Образец деформируют с постоянной скоростью. При этом фиксируют изменение нагрузки в процессе деформирования (изменения прогиба) и получают диаграмму изгиба.

Испытания можно проводить на образцах из различных материалов: сталь, алюминий, полимерные композиционные материалы. Если используются материалы, на деформирование которых очень влияет температура, то проводят кондиционирование образцов.

В лабораторной работе испытания проводятся для консольной балки на лабораторной установке для проведения испытаний на изгиб и определяется перемещение в конкретной точке.

Измерение деформаций производится рычажными тензometрами и прогибомерами или стрелочными индикаторами. В лабораторной работе применяется индикатор часового типа для линейных измерений изображен на рис.2 . Стрелочный индикатор предназначен для непосредственного измерения линейных перемещений.



Рис. 2. Индикатор Мессура.

Индикатор крепится неподвижно к испытываемому образцу и штифтом опирается на образец в точке, перемещение которой необходимо определить. При

перемещении этой точки конец штифта следует за ней, так как штифт при помощи пружинки все время прижат к этой точке. При перемещении штифта приходит в движение система зубчатых колес. На оси последнего зубчатого колеса укреплена указательная стрелка, передвигающаяся по круговому циферблату. Перемещение стрелки на одно деление соответствует перемещению штифта на 0,01 мм. Перемещение штифта непосредственно отсчитывают в миллиметрах по линейной шкале от 0 до 10 мм с помощью маленькой стрелки на маленьком циферблате.

3. Краткие теоретические понятия, определения и основные формулы

В основе теории чистого изгиба, когда во всех сечениях балки поперечная сила равна нулю, лежит гипотеза плоских сечений: поперечные сечения балки, будучи плоскими до нагружения, остаются плоскими и после нагружения, поворачиваясь относительно нейтральной линии, разделяющей сжатую и растянутую области сечения. С использованием этой гипотезы получена теоретическая формула для нормального напряжения σ :

$$\sigma = \frac{M}{I_y} z \quad , \quad (1)$$

где M - изгибающий момент в поперечном сечении; I_y - осевой момент инерции сечения балки; z – расстояние от точки, в которой определяется напряжение, до оси y , проходящей через центр тяжести сечения.

Чистый изгиб в инженерной практике встречается редко, гораздо чаще балки испытывают поперечный изгиб ($Q \neq 0$), при котором гипотеза плоских сечений нарушается вследствие сдвиговых деформаций, вызванных касательными напряжениями. Теоретические оценки погрешности формулы (1), распространяемой на случай поперечного изгиба, показывают, что ошибки редко

превышают 5%. В данной работе необходимо опытным путём убедиться в приемлемости формулы (1) для инженерных расчётов.

Перемещения поперечных сечений балок определяют путём решения приближённого дифференциального уравнения изогнутой оси

$$v''(x) = \frac{M(x)}{EI_y}, \quad (2)$$

где $v(x)$ - прогиб балки, т.е. линейное перемещение центра тяжести сечения по перпендикуляру к геометрической оси; $M(x)$ - изгибающий момент в сечении балки; E – модуль Юнга; I_y - осевой момент инерции поперечного сечения.

После интегрирования уравнения (2) получают выражения для угла поворота сечения относительно нейтральной линии и прогиба:

$$\varphi(x) = v'(x) = \int \frac{M(x)}{EI_y} dx + C, \quad v(x) = \iint \left(\frac{M(x)}{EI_y} dx \right) dx + Cx + D, \quad (3)$$

здесь C и D – постоянные интегрирования, которые определяют из граничных условий, зависящих от способа опирания балки.

На рис. 3 изображена расчётная схема балки, пользуясь которой определяют опорные реакции и строят эпюру изгибающих моментов. Формулы для прогиба и угла поворота выписывают из справочника.

Используя справочные таблицы, можно найти максимальное значение прогиба на конце балки:

$$f = v_{\max}(l) = -\frac{Fl^3}{3EI_y}, \quad (4)$$

где E – модуль продольной упругости (модуль Юнга); I_y – осевой момент инерции поперечного сечения относительно горизонтальной оси y ; EI_y – жесткость поперечного сечения балки.

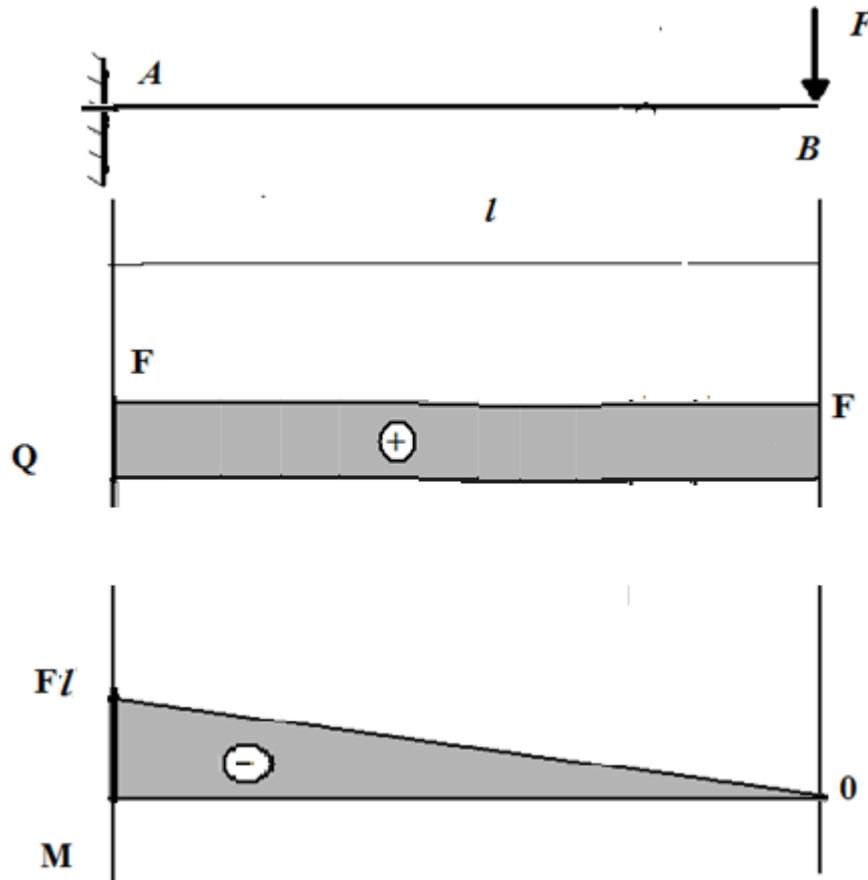


Рис. 3.

Учёные разработали упрощённые методы определения перемещений, к которым можно отнести метод начальных параметров и метод Мора.

Затем нужно вычислить величину модуля упругости:

$$E = -\frac{Fl^3}{3f_y} \quad (5)$$

4. Порядок проведения лабораторной работы

В начале лабораторной работы изучается схема лабораторной установки (рис. 4) и измерительных приборов для проведения испытаний на изгиб с указанием наименования их частей.

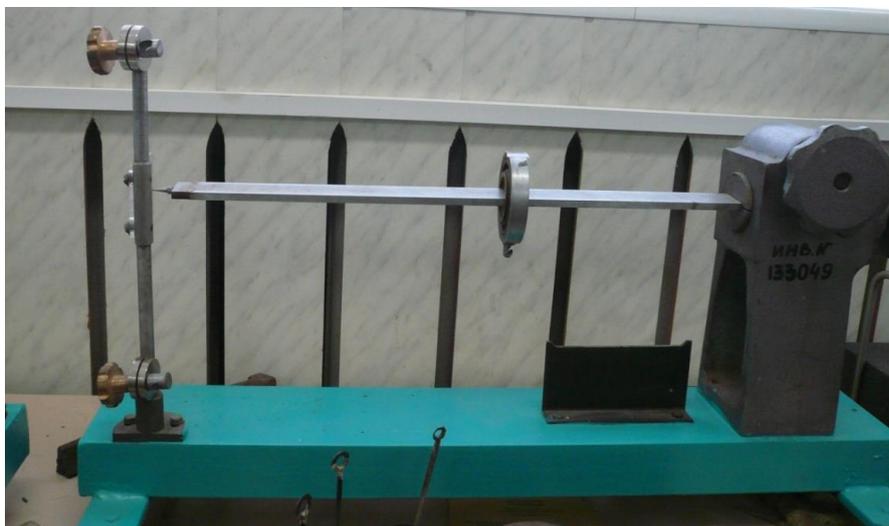


Рис. 4 Общий вид установки.

Для опыта берется образец в виде стального стержня с прямоугольным поперечным сечением. Измеряется длина, ширина и высота консоли. На рис. 5 показана схема лабораторной установки для исследования перемещений консольной балки.

Стержень 2 прямоугольного поперечного сечения устанавливается в заделке в опоре 1. Нагружение балки осуществляют с помощью платформы с грузом 5. Для определения стрелы балки f на конце консоли используется стрелочный индикатор. Вычерчивается в журнал схема образца и схема установки.

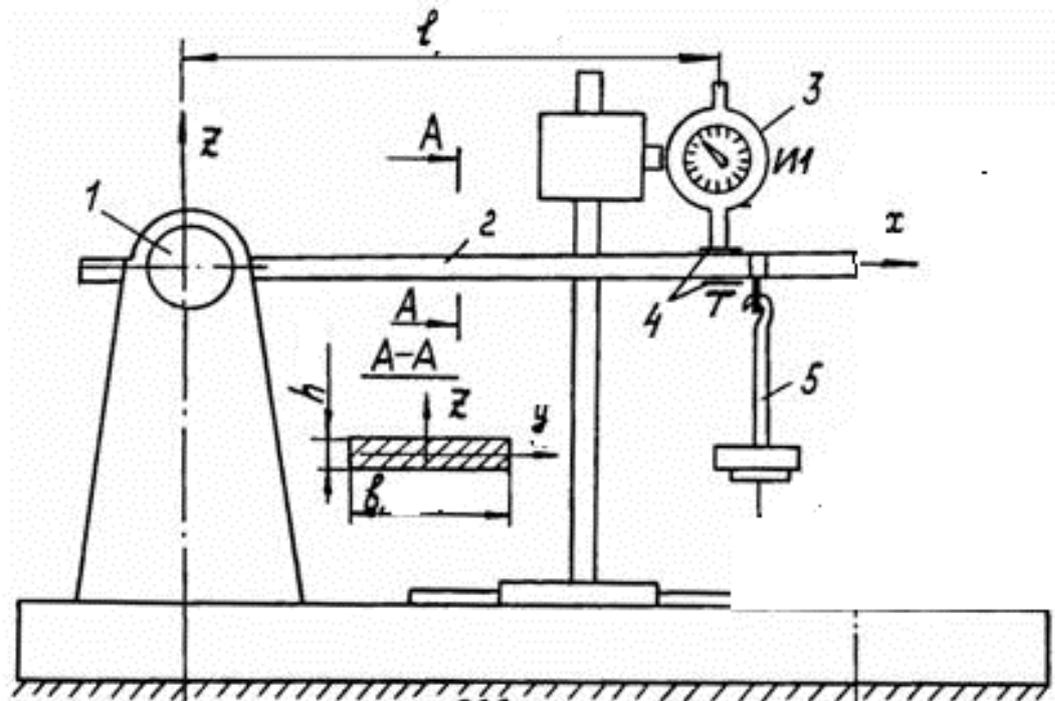


Рис.5. Конструктивная схема лабораторной установки:

1 – шарнирные опоры; 2 – балка; 3, 6 – индикаторы часового типа; 5 – грузовая платформа; 7 – рычаг

Заносятся в журнал данные о прогибе на конце консоли, определяется значение модуля упругости и проводится статическая обработка результатов испытаний.

5. Обработка результатов испытаний

1. Построить график зависимости изгибающего момента $M_i = F_i l$ от прогиба f_i и убедиться в его линейности.
2. Вычислить по формуле (5) для каждой ступени нагружения значение модуля упругости и найти его среднее значение:

$$E_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i, i = 1, \dots, n, \text{ где } n - \text{число измерений.}$$

3. Вычислить отклонение значений E_i от среднего:

$$\Delta E_i = E_{cp} - E_i.$$

4. Определить среднее квадратическое отклонение измерений

$$S = \sqrt{\frac{\sum (\Delta E_i)^2}{n-1}}.$$

5. Определить доверительный интервал средней арифметической величины для заданной доверительной вероятности (принять 0,95):

$$t = \frac{S}{\sqrt{n}},$$

где t – критерий Стьюдента, принимается из таблицы в зависимости от доверительной вероятности и числа степеней свободы $k = n - 1$.

Достоверное значение модуля продольной упругости определяется доверительным интервалом:

$$E_{cp} - t \frac{S}{\sqrt{n}} \leq E \leq E_{cp} + t \frac{S}{\sqrt{n}}.$$

Изобразите расчетную схему и постройте эпюры Q, M, φ, ν .

6. Контрольные вопросы

1. Что происходит с продольными волокнами балки при изгибе?
2. Что такое чистый изгиб?
3. Какой вид имеет эпюра изгибающих моментов для консоли, нагруженной на конце силой?
4. Какой вид имеет эпюра изгибающих моментов для консоли, нагруженной на конце моментом?
5. Какой вид имеет эпюра изгибающих моментов для консоли, нагруженной по всей длине равномерно распределенной нагрузкой?
6. Как формулируется гипотеза плоских сечений?



7. По какой формуле определяются нормальные напряжения в поперечном сечении балки при чистом изгибе и как они меняются по высоте балки?
8. Что такое жесткость сечения при изгибе?
9. Что называется моментом сопротивления при изгибе и какова его размерность?
10. Перечислите правила техники безопасности?
11. Какова цель данной лабораторной работы?
12. В каком случае балка испытывает чистый изгиб?
13. Какой изгиб балки называют поперечным изгибом?
14. Почему при поперечном изгибе гипотеза плоских сечений несправедлива?
15. Как записывается условие прочности при изгибе?
16. Как теоретически определяют нормальные напряжения при плоском изгибе в любом слое поперечного сечения балки?
17. Как определяют максимальные нормальные напряжения в сечении балки при плоском изгибе?
18. Как распределяются нормальные напряжения по высоте прямоугольного сечения балки при плоском изгибе? Покажите эпюру.
19. Как записывают приближённое дифференциальное уравнение изогнутой оси балки?
20. Как записывают общее выражение для угла поворота сечения балки?
21. Как записывают общее выражение для прогиба балки?
22. Из каких условий определяют постоянные интегрирования в общих выражениях для перемещений?
23. Как определяют прогиб балки опытным путём?
24. Как определяют опорные реакции в балке?



25. Как строят эпюру изгибающих моментов в балке?
26. Как вычисляют осевой момент инерции сечения?

7. Основные правила техники безопасности.

1. Запрещается устанавливать образец и приводить испытания на лабораторной установке без разрешения руководителя.
2. Во время испытания запрещается трогать образец руками.
3. При выполнении работы запрещается ходить за щиты, ограждающие лабораторную установку.
4. Необходимо находиться от испытываемого образца на расстоянии не менее 0,5 м.
5. Запрещается подходить к лабораторным установкам, не связанным с выполнением работы.



ПРИЛОЖЕНИЕ 1

/Образец/

ОТЧЕТ

по лабораторной работе № _____

«Испытание на изгиб консольной балки»

Дата проведения работы _____

**ОПЫТ №1. ИСПЫТАНИЕ НА ИЗГИБ КОНСОЛЬНОЙ БАЛКИ В
ПЛОСКОСТИ ZX**

1. Название лабораторной установки _____

2. Схема установки _____

3. Материал
образца _____

4. Форма и размер образца

М 1:1

5. Определение осевого момента инерции и момента сопротивления при
изгибе _____



6. Построение эпюр внутренних силовых факторов при изгибе для данной схемы нагружения:

7. Журнал испытаний.

№ п/п	Наименование измеряемых величин	Обозначение	Размер	Величина
1	Длина балки l			
2	Ширина поперечного сечения			
3	Высота поперечного сечения			
4	Площадь поперечного сечения			
5	Осевой момент инерции относительно оси y			
6	Момент сопротивления относительно оси y			

8. Величина перемещения на конце консоли при нагрузке для каждого испытания



№ испытания	Нагрузка		Прогиб	
	Сила F, кг		V	ΔV
	F	ΔF		
1				
2				
3				
4				
5				
...				

9.Обработка результатов испытаний

Для каждой ступени нагружения нужно определить значение модуля упругости и найти его среднее значение, отклонение значений E_i от среднего, среднее квадратическое отклонение измерений, доверительный интервал средней арифметической величины для заданной доверительной вероятности.

ОПЫТ №2. ИСПЫТАНИЕ НА ИЗГИБ КОНСОЛЬНОЙ БАЛКИ В ПЛОСКОСТИ УХ

1. Название лабораторной установки _____
2. Схема установки _____



3. Материал

образца _____

4. Форма и размер образца

М 1:1

5. Определение осевого момента инерции и момента сопротивления при изгибе _____

6. Построение эпюр внутренних силовых факторов при изгибе для данной схемы нагружения:

7. Журнал испытаний.

№ п/п	Наименование измеряемых величин	Обозначение	Размер	Величина
1	Длина балки l			



2	Ширина поперечного сечения			
3	Высота поперечного сечения			
4	Площадь поперечного сечения			
5	Осевой момент инерции относительно оси z			
6	Момент сопротивления относительно оси z			

8. Величина перемещения на конце консоли при нагрузке и разгрузке для каждого испытания

№ испытания	Нагрузка Сила F, кг		Прогиб	
	F	ΔF	V	ΔV
1				
2				
3				
4				
5				
...				

9. Аналогично провести обработку результатов испытаний и найти значение модуля упругости и найти его среднее значение:

10. Вывод



Нужно сравнить два опыта и сравнить результаты испытаний. Провести расчет прогиба на конце консоли методом начальных параметров и сравнить с формулой, используемой при проведении опытов.



ПРИЛОЖЕНИЕ 2

/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 «Испытание на изгиб консольной балки»

Выполнил студент группы _____

_____ **(Ф.И.О.)**

Принял _____

_____ **(Ф.И.О.)**

Ростов-на-Дону

20 ____ г.