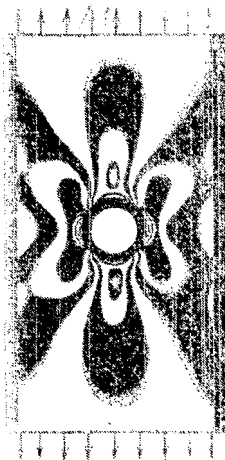


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Кафедра сопротивления материалов и теоретической механики

# ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО СОПРОТИВЛЕНИЮ МАТЕРИАЛОВ

*для студентов строительных и механических специальностей  
дневной и заочной форм обучения  
(Часть 2)*



Брест 2005

УДК 620.10.

При изучении сопротивления материалов чрезвычайно важную роль играет эксперимент, который дает возможность получить механические характеристики материалов, необходимые для построения теории расчетов на прочность. С помощью эксперимента производится проверка теоретических выводов и формул сопротивления материалов. Обычно эти выводы и формулы получаются на основании допущений (гипотез), а поэтому требуют проверки на опыте.

Основная цель методических указаний – оказать помощь студентам при самостоятельной подготовке к лабораторным работам.

Составители: А.И.Веремейчик, ст. преподаватель  
С.С.Даркович, ст. преподаватель  
В.Л.Мартыновский, доцент  
П.И.Соловей, доцент  
И.С.Сырица, доцент  
А.М.Трусь, профессор  
В.М. Хвасевич, доцент

## Содержание

	Стр.
Часть II. Определение деформаций и напряжений	
Работа №9	4
Работа №10	8
Работа №11	11
Работа №12	15
Работа №13	19
Работа №14	24
Работа №15	28
Работа №16	31

## Лабораторная работа №9

**Тема:** «Определение напряжений в металлической балке методом электротензометрии при плоском поперечном изгибе».

**Цель работы.** Теоретически и экспериментально определить напряжения в заданных точках сечений балки. Исследовать закон распределения нормальных напряжений по сечению балки и определить величину и направление главных напряжений в нейтральном слое балки.

**II Содержание работы.** Металлическая балка двутаврового сечения нагружена силой  $F$ , приложенной на консоли. Напряжения определяются в трех сечениях (I, II, III) и в точках сечений, как показано на рис. 9.1.

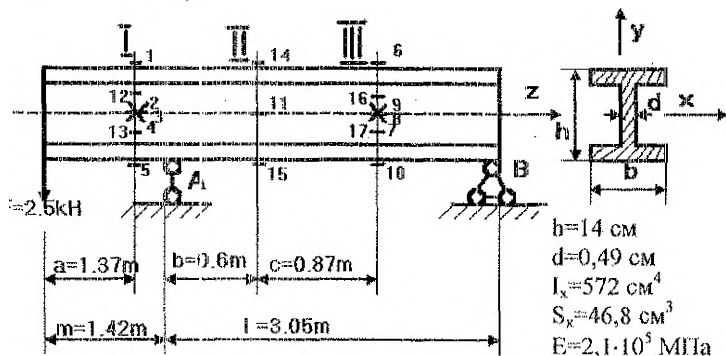


Рис.9.1. Схема балки

### 1. Теоретическое определение напряжений

При плоском поперечном изгибе нормальные напряжения в любой точке поперечного сечения балки определяются по формуле:

$$\sigma = \pm \frac{M}{I_x} y, \quad (9.1)$$

где  $M$  - изгибающий момент в рассматриваемом сечении;  $I_x$  - осевой момент инерции сечения;  $y$  - ордината точки, в которой определяются напряжения.

Знак напряжения легко определить по эпюре  $M$  (эпюра  $M$  строится на растянутых волокнах).

Из формулы 9.1 видно, что при  $y = 0$ :  $\sigma = 0$ , а при  $y = \frac{h}{2}$ :  $\sigma = \sigma_{\max}$ .

Исследование напряженного состояния в балках показывает, что на нейтральной оси ( $y=0$ ) имеет место деформация чистого сдвига (см. рис. 9.2) т.е.  $\sigma_{\max} = |\sigma_{\min}| = \tau$ , где отах;  $\sigma_{\max}$  - главные напряжения, действующие под углом  $45^\circ$  к оси балки;  $\tau$  - касательное напряжение.

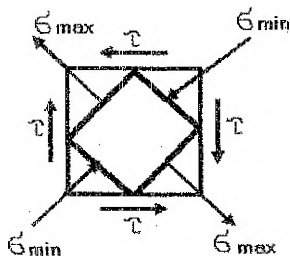


Рис.9.2. Напряженное состояние в точке при  $Q>0$

Касательные напряжения определяются по формуле Журавского:

$$\tau = \frac{Q \cdot S_x}{J_x \cdot d}$$

где  $Q$  - поперечная сила в рассматриваемом сечении;  $J_x$ ,  $S_x$ ,  $d$  - геометрические характеристики сечения, берутся по сортаменту для двутавра.

## 2. Экспериментальное определение напряжений

В последнее время широко применяются электрические тензометры (проводочные датчики омического сопротивления). Датчик наклеивается специальным клеем на исследуемую поверхность в заданных точках (см. рис. 9.1). (Принцип работы датчика описан в разделе «Измерительные приборы»).

Все датчики сведены в тензостанцию, с помощью которой берутся отсчеты. Напряжения, полученные экспериментальным путем, вычисляются по формуле:

$$\sigma = \Delta n \cdot k_T, \quad (9.4)$$

где  $\Delta n = n_k - n_0$  - разность отсчетов по тензостанции;  $n_0$  - начальный отсчет (отсчет без нагрузки, т.е.  $F = 0$ );  $n_k$  - конечный отсчет (отсчет под нагрузкой, т.е.  $F = 2,5$  кН);  $k_T$  - коэффициент тарировки ( $k_T = 2,1$  МПа).

## III. Порядок проведения испытаний

1. Ознакомиться с устройством тензодатчика.
2. Изучить устройство и работу тензостанции, методику измерения напряжений с помощью электротензометрии.
3. Зарисовать схему балки, измерить с точностью до 1 мм размеры ( $a$ ;  $b$ ;  $c$ ;  $m$ ;  $l$ ;  $h$ ), указанные на рисунке 9.1. Включить тензостанцию и в ненагруженном состоянии балки снять последовательно показания тензостанции для всех датчиков, наклеенных в сечениях I, II, III.
4. Загрузить балку нагрузкой  $F$  и вновь снять показания для соответствующих датчиков.
5. Определить разность показаний и по формуле (9.4) найти значения напряжений. Данные расчета занести в таблицу 1.

#### IV. Обработка результатов

1. Используя уравнения статики, определяются опорные реакции.
2. Строятся эпюры поперечных сил и изгибающих моментов.
3. Из сортамента для I №14 выписываются геометрические характеристики сечения.
4. По формулам (9.1 - 9.3) определяются напряжения в исследуемых точках рассматриваемых сечений. В одном из сечений строится эпюра  $\sigma$ . Результаты расчета заносятся в таблицу 1.
5. Сравниваются результаты, полученные аналитически и экспериментально. Определяется % ошибки по формуле:

$$\sigma = \left| \frac{\sigma_i^T - \sigma_i^{эк}}{\sigma_i^T} \right| 100\% \quad (9.5)$$

#### V. Выводы

Дать ответы на вопросы, поставленные целью лабораторной работы.

Проанализировав таблицу опытных данных можно убедиться, что опытная эпюра нормальных напряжений представляет собой практически прямую линию. Значит гипотеза плоских сечений подтверждается.

Сравнивая  $\sigma_{теор}$  и  $\sigma_{эксп}$ , видно, что результаты совпадают или незначительно отличаются друг от друга. Это позволяет сделать вывод о допустимом применении тех гипотез и упрощений, которые приняты в теории плоского поперечного изгиба.

Таблица 1

Сечения	Точки измерения	Измерения		Разность $\Delta n = n_k - n_n$	Напряжения		% ошибок
		Отсчет до нагружения $n_n$	Отсчет после нагружения $n_k$		$\sigma_{эксп}$ , МПа	$\sigma_{теор}$ , МПа	
1	2	3	4	5	6	7	8
I-I	1						
	2						
	3						
	4						
	5						
	12						
1	13						
	2	3	4	5	6	7	8
II-II	11						
	14						
	15						
III-III	6						
	7						
	8						
	9						
	10						
	16						
	17						

## Контрольные вопросы

1. Какие гипотезы и допущения приняты в теории плоского изгиба?
2. В чем заключается гипотеза плоских сечений?
3. Как распределяются нормальные напряжения по высоте сечения балки?
4. В каком напряженном состоянии находится материал в изучаемых точках на поверхности балки?
5. Какое положение занимает нейтральный слой балки?
6. Сформулируйте общую цель лабораторной работы.
7. По какой формуле определяются нормальные напряжения при изгибе в любой точке поперечного сечения балки?
8. По какой формуле определяются касательные напряжения при изгибе балки?
9. Каково направление главных напряжений на уровне нейтрального слоя балки и по какой формуле они определяются?
10. Какие измерительные приборы используются при проведении лабораторной работы?
11. Что непосредственно измеряется в данной работе при помощи датчиков сопротивления?
12. Как располагаются по отношению к продольной оси балки датчики, служащие для измерения деформации ее волокон?
13. Что такое розетка датчиков и для чего она предназначена?
14. Покажите, в каком месте поперечного сечения балки имеет место чистый сдвиг?
15. Опишите устройство и принцип работы датчика.
16. Какой вид имеет условие прочности по нормальным и касательным напряжениям?

## Лабораторная работа №10

**Тема.** «Определение деформаций в металлической балке при плоском поперечном изгибе».

**I. Цель работы.** Теоретически и экспериментально определить прогибы и углы поворота указанных сечений балки.

**II. Содержание работы.** Металлическая балка двутаврового сечения нагружена силой  $F$ , приложенной на консоли. Прогибы определяются в сечениях  $0$ ,  $1$ , а углы поворота в  $0$ ,  $A$  (см. рис. 10.1).

Перемещение центра тяжести сечения балки по направлению, перпендикулярному к оси балки, называется прогибом балки в этом сечении или прогибом этого сечения балки.

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

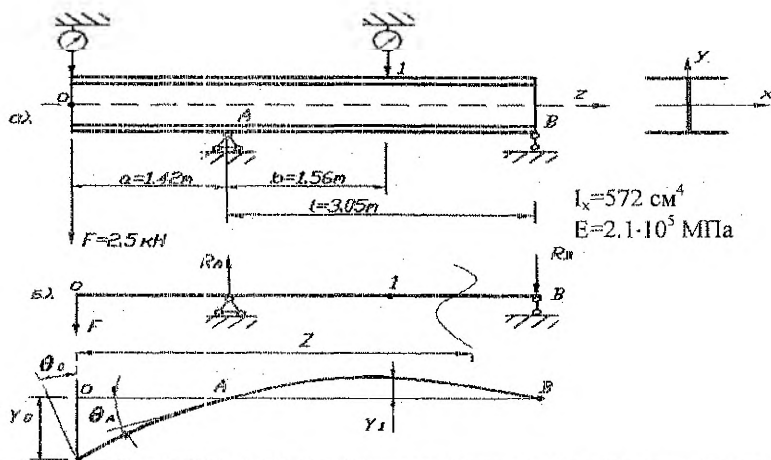


Рис. 10.1.

### 1. Теоретическое определение прогибов и углов поворота

Прогибы и углы поворота заданных сечений определяются методом начальных параметров.

Для произвольного сечения «Z» на участке АВ универсальное уравнение прогибов будет иметь вид:

$$EJ_x Y_z = EJ_x Y_0 + EJ_x \theta_0 \cdot Z - \frac{F \cdot Z^3}{6} + \frac{R_A (Z-a)^3}{6}; \quad (10.1)$$

где  $EJ_x$  - жесткость балки при изгибе.

$\theta_0; Y_0$  - начальные параметры, т.е. угол поворота и прогиб соответственно в начале координат (сечение «0»).

Для определения  $\theta_0$  и  $Y_0$  используем условие закрепления балки.

$$\left. \begin{array}{l} \text{при } Z = a; \\ \text{при } Z = a+l; \end{array} \right\} \begin{array}{l} EJ_x Y_A = EJ_x Y_0 + EJ_x \theta_0 \cdot a - \frac{F \cdot a^3}{6} = 0 \\ EJ_x Y_B = EJ_x Y_0 + EJ_x \theta_0 (a+l) - \frac{F(a+l)^3}{6} + \frac{R_A \cdot l^3}{6} = 0 \end{array} \quad (10.2)$$

Решив систему (10.2) уравнений, определим  $EJ_x \theta_0$  и  $EJ_x Y_0$ , а затем и  $\theta_0; Y_0$ .

Прогиб сечения «1» определим из уравнения (10.1) при условии  $Z = a+b$ , т.е.

$$EJ_x Y_1 = EJ_x Y_0 + EJ_x \theta_0 (a+b) - \frac{F(a+b)^3}{6} + \frac{R_A \cdot b^3}{6}; \quad (10.3)$$

Угол поворота опорного сечения «А» определяем из универсального уравнения углов поворота:

$$EJ_x \theta_A = EJ_x \theta_0 - \frac{F \cdot a^2}{2}; \quad (10.4)$$

### 2. Экспериментальное определение прогибов и углов поворота

Для измерения прогибов сечений «1», «0» балки используются индикаторы часового типа (см. рис. 10.1) (Устройство и принцип работы даны в разделе «Измерительные приборы») с точностью до 0,01 мм..



Величину прогибов определяем по формуле:

$$y = n \cdot c; \quad (10.5)$$

где  $n$  – показания индикаторов (число делений),  
 $c$  – цена деления индикатора.

Для определения угла поворота сечения «О» используется устройство (см. рис. 10.2)  
 $h = 1500$  мм

1 - штанга высотой  $h$ , 2 – отвес, 3 – линейка.

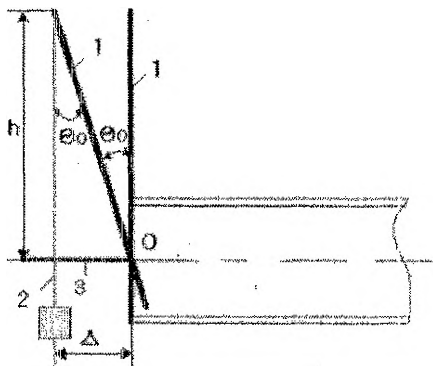


Рис. 10.2. Устройство для определения угла поворота ( $\theta_0$ )

В силу малости деформаций можем записать:

$$\operatorname{tg} \theta_0 \approx \theta_0 = \frac{\Delta}{h} \text{ (рад)} \quad (10.6)$$

Приблизненно угол поворота опорного сечения «А» (см. рис. 10.2) будет:

$$\operatorname{tg} \theta_A \approx \theta_A = \frac{Y_0}{a}, \quad (10.7)$$

где  $Y_0$  определено по формуле (10.5).

### III. Порядок проведения испытаний

1. Изучается устройство индикаторов часового типа, их установка и методика определения с их помощью перемещений.
2. Зарисовывается схема металлической балки (рис. 10.1), измеряются размеры ( $a$ ;  $b$ ;  $l$ ), указанные на схеме.
3. Производятся испытания:
  - а) до нагружения балки во всех индикаторах стрелки устанавливаются на нуль,
  - б) плавно без рывков балка нагружается нагрузкой  $F$ ,
  - в) снимаются показания индикаторов, а также горизонтальное смещение отвеса ( $\Delta$ ).

### IV. Обработка результатов

1. По формулам (10.5; 10.6; 10.7) определяются экспериментальные величины:  $Y_0$ ;  $Y_1$ ;  $\theta_0$ ;  $\theta_1$  и результаты заносятся в таблицу 1.
2. Определяются опорные реакции из уравнений статики.
3. Аналитически по формулам (10.1; 10.2; 10.3; 10.4) определяются  $Y_0$ ;  $Y_1$ ;  $\theta_0$ ;  $\theta_1$  и результаты заносятся в таблицу 1.
4. Сравниваются экспериментальные и теоретические результаты. Определяется %

ошибки по формулам:

$$\delta_y = \left| \frac{y_i^T - y_i^{\text{эк}}}{y_i^T} \right| 100\%; \quad \delta_\theta = \left| \frac{\theta_i^T - \theta_i^{\text{эк}}}{\theta_i^T} \right| 100\%.$$

Таблица 1

№ п/п	Сечение	Показания индикаторов	Цена деления индикатора, мм	Отсчет по отвесу $\Delta$ (мм)	Прогибы сечений, $y$ (мм)		% ошиб. ( $y$ )	Углы поворота сечений, $\theta$ (рад)		% ошиб. ( $\theta$ )
					Эксп.	Теор.		Эксп.	Теор.	
1	0									
2	A									
3	1									

**V. Выводы** Дать анализ экспериментальных и теоретических результатов.

#### Контрольные вопросы

1. Какими параметрами характеризуется деформация при плоском изгибе?
2. Какие методы определения этих параметров Вы знаете?
3. Какая существует дифференциальная зависимость между прогибом и углом поворота сечения балки?
4. Сформулируйте цель лабораторной работы.
5. Опишите вид установки и приборы, применявшиеся для измерения прогибов и угла поворота сечений балки.
6. Какой метод применяется для теоретического определения прогибов и углов поворота сечений?
7. Что называется жесткостью стержня при изгибе?
8. Что такое начальные параметры и из каких условий они определяются?
9. Запишите обобщенное уравнение приборов применительно к исследуемой балке.
10. Как по показанию индикатора вычислить измеренный прогиб?
11. Объясните, почему после разгрузки опытной балки индикаторы показали первоначальные отсчеты?

### Лабораторная работа №11

**Тема.** «Исследование статически неопределимой балки».

**I. Цель работы.** Подтвердить возможность теоретических расчетов статически неопределимых балок с применением уравнений перемещений, т.е. сравнить результаты опытного определения момента защемления балки с теоретическим. На основании опытных данных установить пропорциональную зависимость деформаций балки от нагрузки.

#### II Содержание работы

Статически неопределимые балки находят в инженерной практике широкое применение, поскольку являются более экономичными, позволяющими воспринимать большие нагрузки, перекрывать большие пролеты. Такие балки получаются путем введения дополнительных опорных закреплений. В этих случаях число опорных реакций превышает число возможных уравнений статики. Это приводит к составлению дополнительных уравнений, связанных с рассмотрением деформаций в балках. Дополнительные уравнения представляют собой обобщенные уравнения перемещений и могут быть решены различными способами.

Для проведения исследования по данной работе используется настольная установка (рис. 11.1), которая представляет собой балку (1), изготовленную из полосовой стали прямоугольного поперечного сечения. Балка опирается на две стойки-опоры - (2) А и (7) В. Стойка А - неподвижна, стойку В можно перемещать вдоль станины (11). На поверхности балки (1) имеется сантиметровая разметка от опоры А до опоры В, что позволяет задавать положение подвесок (9) и (10). К шарниру опоры А, кроме балки, жестко крепится консоль Г-образной формы. Горизонтальная часть консоли выполнена в виде рейки с миллиметровой разметкой от опоры А в сторону свободного конца.

При загрузке подвесок (9), (10) заданной нагрузкой балка прогибается, все поперечные сечения (включая и опорные) поворачиваются. Совместно с опорным сечением А поворачивается консоль (3) на угол  $\theta_A$  (см. рис. 11.2). Отклонение фиксируется индикатором (8). Возвращение консоли в первоначальное положение с целью исключения поворота опорного сечения А (имитация защемления) производится с помощью грузов (5) и (6). Зная величину и положение этих грузов, можно определить опорный момент.

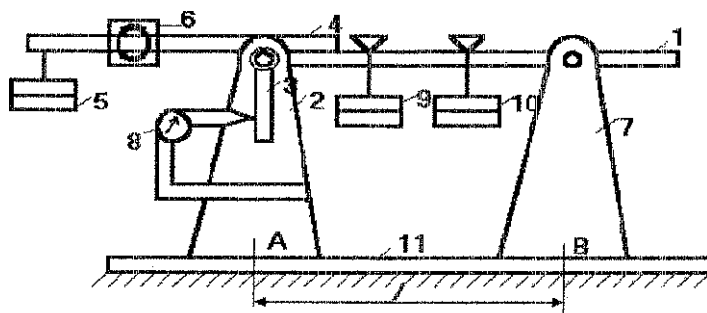


Рис. 11.1. Схема установки

1- балка, 2, 7 - стойки - опоры, 3- вертикальная часть консоли, 4- горизонтальная часть консоли, 5, 9, 10 - сменные грузы, 6 - подвижный груз ( $F_0 = 9,6 \text{ Н}$ ), 8 - индикатор, 11 - станина.

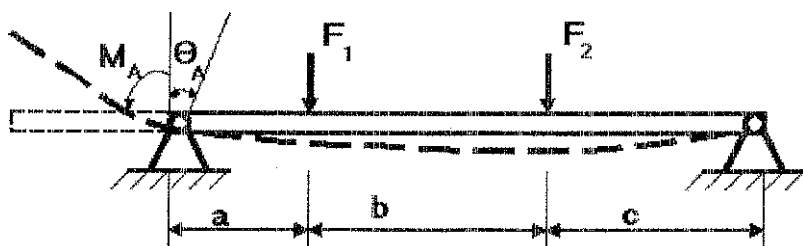


Рис. 11.2.

## 1. Теоретическое определение опорного момента

Расчетная схема балки имеет вид:

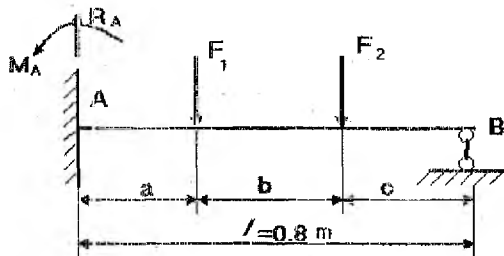


Рис. 11.3.

Для определения реакции  $M_A$  и  $R_A$  составим систему двух уравнений:

$$\sum M_B = 0; \quad M_A \cdot l - R_A \cdot l + F_1(b+c) + F_2 \cdot c = 0; \quad (11.1)$$

$$\sum \Gamma_A = 0; \quad -\frac{M_A \cdot l^2}{2} + \frac{R_A \cdot l^2}{6} - \frac{F_1(b+c)^2}{6} - \frac{F_2 \cdot c^2}{6} = 0; \quad (11.2)$$

Уравнение (11.1) представляет собой статическое уравнение, а уравнение (11.2) - геометрическое.

Исключая реакцию  $R_A$ , приходим к следующему выражению для опорного момента

$$M_A = \frac{F_1(b+c)(l^2 - (b+c)^2) + F_2 c(l^2 - c^2)}{2l^2}. \quad (11.3)$$

Задавая значениями сил  $F_1$  и  $F_2$ , а также выбрав величины  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , определяем опорный момент.

## 2. Экспериментальное определение опорного момента

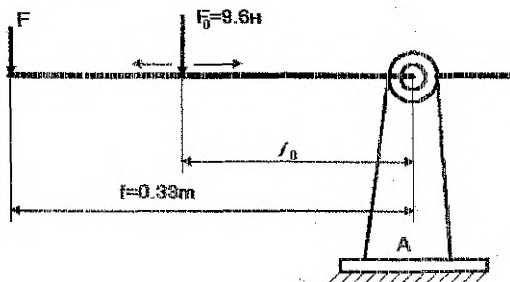


Рис. 11.4.

Загружаем балку силами  $F_1$  и  $F_2$ . Для каждого случая загрузки снимаем отсчеты ( $\psi$ ) по индикатору (8).

При помощи грузов (5) и (6) возвращаем показания индикатора в исходное положение, что соответствует равенству нулю поворота сечения А. Снимаем показания  $l_0$  по шкале консоли (рис. 11.4). Экспериментальное значение момента  $M_A$  вычисляем по формуле:

$$M_A = F_0 \cdot l_0 + F \cdot f \quad (11.4)$$

### III. Порядок проведения испытаний

1. Устанавливается показание индикатора ( $\delta$ ) на нуль и подготавливаются грузы ( $F, F_0, F_1, F_2$ ).
2. Нагружается балка (1) грузами ( $F_1$  и  $F_2$ ) и для каждого нагружения снимается показание индикатора ( $U$ )
3. При помощи грузов ( $F$  и  $F_0$ ) возвращают показание индикатора в исходное положение (нулевое).
4. Определяют расстояния от грузов ( $F$  и  $F_0$ ) до оси  $A$ .

### IV. Обработка результатов

1. Для каждого случая нагружения по формуле (11.4) определяется опорный момент  $M_A^{экс}$ .
2. Строится график зависимости  $F - u$ .
3. По формуле (11.3) теоретически определяется опорный момент  $M_A^T$ .
4. Результаты измерений и вычислений заносятся в таблицу 1.
5. Определяется % ошибки экспериментальных и теоретических решений по формуле:

$$\delta = \frac{M_A^T - M_A^{экс}}{M_A^T} \cdot 100\%$$

Примечания.

1. По указанию преподавателя  $M_A^T$  можно определить методом сравнения деформаций.
2. Построить эпюры поперечных сил ( $Q$ ) и изгибающих моментов ( $M$ ) в статически неопределимой балке.

Таблица 1

№ п/п	Размеры, м						Груз $F$ н	Сменные грузы, н			Показание индикатора $U$ , мм	Опорный момент, н·м		$\delta$ %
	$l$	$l_0$	$a$	$b$	$c$	$f$		$F_0$	$F_1$	$F_2$		$M_A^T$	$M_A^{экс}$	
1							9,6							
2	0,8	0,33												
3														

**V. Выводы.** Дать ответ на поставленные вопросы при постановке цели исследования.

#### Контрольные вопросы

1. Какие балки называют статически неопределимыми?
2. Что такое основная система?
3. Какие связи налагает на балку опора с жесткой заделкой?
4. Как было определено экспериментальное значение опорного момента  $M_A$ ?
5. Как определить теоретическое значение  $m_A$ ?
6. Какие опоры относятся к лишним?
7. Какой вид перемещения соответствует моменту заделки или защемления?
8. Каким измерительным прибором пользовались в опыте?
9. Какова роль грузов, действующих на консоли?
10. Перечислить методы определения перемещений.
11. Каким аналитическим методом пользовались в данной работе для определения момента защемления?

## Лабораторная работа №12

### Тема. «Исследование косого изгиба».

**I. Цель работы.** Ознакомление с кривым изгибом консольной балки и сравнение опытных значений напряжений, прогибов с теоретическими. Сравнить результаты косого и плоского прямого изгибов.

**II. Содержание работы.** Установка состоит из двух одинаковых консольных балок (консоль). Сечение балок - равнобокий уголок. Балки нагружаются силой  $F$ . В заданных сечениях и точках сечений определяются напряжения, а также определяются прогибы конца консоли (см. рис. 12.1).

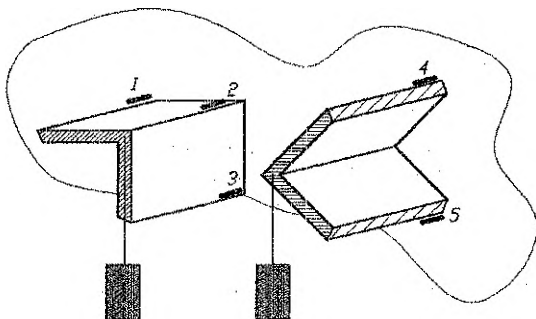


Рис.12.1. Схема установки

### 1. Теоретическое определение напряжений и прогибов

**A. Косой изгиб.** Кривым изгибом называется такой вид изгиба, когда силовая плоскость действия изгибающего момента не совпадает ни с одной из главных центральных осей инерции поперечного сечения стержня. Косой изгиб можно представить как сочетание двух прямых изгибов.

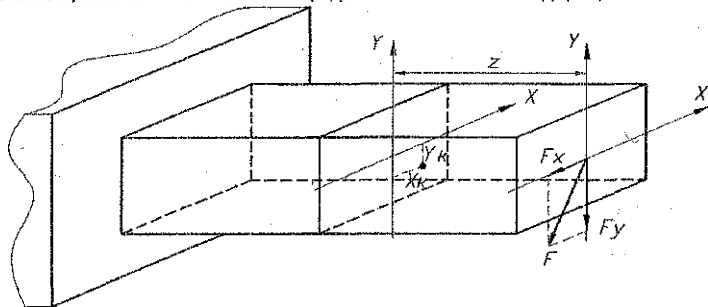


Рис.12.2

Нормальные напряжения в любой точке сечения  $Z$  можно определить по формуле (12.1)

$$\sigma = \pm \frac{M_x}{I_x} Y \pm \frac{M_y}{I_y} X, \quad (12.1)$$

где

$$F_x = F \cdot \sin \alpha, \quad F_y = F \cdot \cos \alpha, \quad (12.2)$$

$$\begin{aligned} M_y &= F_x \cdot Z = F \sin \alpha \cdot Z = M \cdot \sin \alpha, \\ M_x &= F_y \cdot Z = F \cos \alpha \cdot Z = M \cdot \cos \alpha, \end{aligned} \quad (12.3)$$

$x, y$  — координаты точки, где определяются напряжения.

Знак «+» или «-» в формуле (12.1) будем принимать по деформации балки, т.е. не связывая его со знаками координат точки и изгибающих моментов.

Для определения прогибов в различных сечениях балки при косом изгибе применим способ сложения действия сил. Находим (различным методом) составляющие прогиба от сил  $F_y$  и  $F_x$ , а полный прогиб находим по формуле:

$$f = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \quad (12.4)$$

Расчетная схема балки имеет вид (рис.12.3)

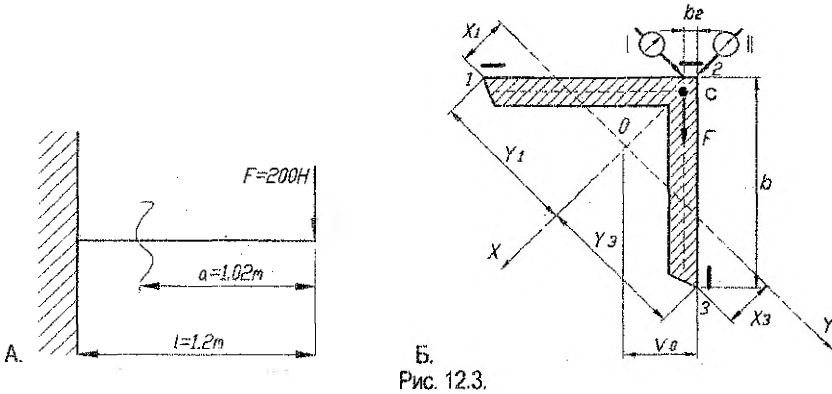


Рис. 12.3.

Напряжения в точках 1,2,3 соответственно будут:

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \frac{M_x}{I_x} y_1 - \frac{M_y}{I_y} x_1, \\ \sigma_2 &= \frac{M_x}{I_x} y_2 + \frac{M_y}{I_y} x_2, \quad \text{где} \\ \sigma_3 &= -\frac{M_x}{I_x} y_3 - \frac{M_y}{I_y} x_3, \end{aligned} \quad (12.5)$$

$$M_x = M_y = F_x \cdot a = F_y \cdot b = F \cos \alpha \cdot a,$$

$$x_1 = x_3 = b \cos 45^\circ - \frac{v_0}{\cos 45^\circ},$$

$$y_1 = |y_3| = b \sin 45^\circ,$$

$$x_2 = \frac{v_0}{\cos 45^\circ} - b_2 \cos 45^\circ,$$

$$y_2 = b_2 \cos 45^\circ, \quad b_2 = \frac{d}{2}.$$

Геометрические характеристики сечения:

$\angle 75 \times 75 \times 8, I_x = 94,8 \text{ см}^4, I_y = 24,8 \text{ см}^4, v_0 = 2,15 \text{ см}.$

Прогибы свободного конца консоли определяем по известной формуле

$$f_x = \frac{F_x \cdot l^3}{3EI_x}, \quad f_y = \frac{F_y \cdot l^3}{3EI_y} \quad (12.7)$$

Примечание.

Чтобы избежать кручения балки сила  $F$  приложена в точке  $C$  (центр изгиба), который находится на пересечении средних линий полок уголка.

### В. Прямой поперечный изгиб

Расчетная схема балки имеет вид (рис.12.4)

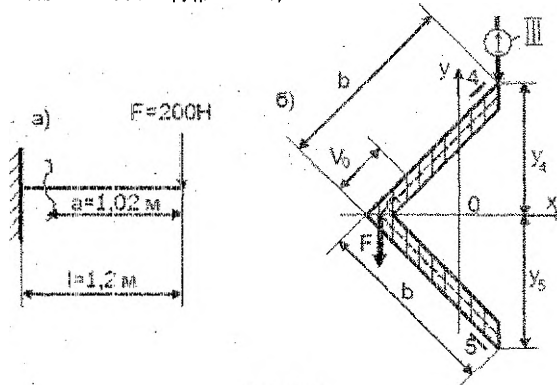


Рис.12.4.

Напряжения в точках 4,5 определяем по формуле

$$\sigma_{4,5} = \pm \frac{M}{I_x} y_{4,5} \quad (12.8)$$

Прогиб свободного конца определяем по формуле:

$$f = f_y = \frac{F \cdot l^3}{3EI_x} \quad (12.9)$$

### 2. Экспериментальное определение напряжений и прогибов

Напряжения в заданных точках сечений находим методом тензометрии. Для каждой точки снимаются показания тензостанции до и после нагружения. Вычисляется разность отсчетов:  $\Delta n = n_k - n_n$  и напряжения:

$$\sigma = \Delta n \cdot K_T, \quad K_T = 2,1 \text{ МПа.} \quad (12.10)$$

Прогибы берем по индикаторам I, II, III (см. рис. 12.3 - 12.4).

### III. Порядок проведения испытаний

1. С помощью линейки с точностью до 1 мм измеряем размеры балки: 1, а.
2. Устанавливаем показания индикаторов I, II, III на нуль.
3. Для балок в незагруженном состоянии записываем показания прибора АИД-4 тензостанции для каждой точки сечений.
4. Загружаем балки силой  $F$  и снимаем показания АИД-4 и индикаторов I, II, III.
5. Результаты записываем в таблицу 1.



#### IV. Обработка результатов

1. По формулам (12.5) и (12.8) определяем напряжения, а по формулам (12.4), (12.7) и (12.9) - прогибы при косом и прямом поперечном изгибе.
2. По формулам (12.10) вычисляем напряжения экспериментально.
3. Величину прогиба при косом изгибе определяем по формуле (12.4), причем  $f_x$  берем по индикатору I, а  $f_z$  - по индикатору II.  
Величина прогиба при прямом поперечном изгибе определяется по индикатору III.

Таблица 1

l м	a м	F Н	КТ МПа	Вид изги- ба	№ точек	Отчеты по тензо- станции			Напряжения МПа		Прогибы мм					% ошибки		
						n <sub>1</sub> F=0	n <sub>2</sub> F=200	Δn	σ <sub>экс</sub>	σ <sub>теор</sub>	экс.		теор.			σ	f	
											f <sub>x</sub>	f <sub>y</sub>	f	f <sub>x</sub>	f <sub>y</sub>			f
1,2	1,02	200	2,1	косой	1													
					2													
					3													
1,2	1,02	200	2,1	прямой	4													
					5													

#### V. Выводы

1. Дать анализ результатов опытных и теоретических исследований.
2. Сравнить напряжения и прогибы косого и прямого поперечного изгибов.

#### Контрольные вопросы

1. Какой изгиб называется косым? В чем принципиальное различие между прямым и косым изгибом?
2. В чем заключается принцип независимости действия сил?
3. Какова цель работы?
4. Как определить теоретически нормальные напряжения при косом изгибе?
5. Какие выводы можно сделать на основании сравнения нормальных напряжений при прямом и косом изгибах?
6. Какой вид имеет условие прочности при косом изгибе?

#### Лабораторная работа № 13

Тема. «Исследование внецентренного растяжения прямого бруса».

I. Цель работы. Теоретически и экспериментально определить нормальные напряжения в намеченных точках поперечного сечения. Определить положение нулевой линии. Подтвердить закон Гука при внецентренном растяжении-сжатии и закон распределения нормальных напряжений по сечению бруса (построить их эпюры).

II. Содержание работы. Установка представляет собой прямоугольную полосу с наклеенными на ее боковой поверхности датчиками (рис. 13.1). Испытания проводятся на машине УММ-5.

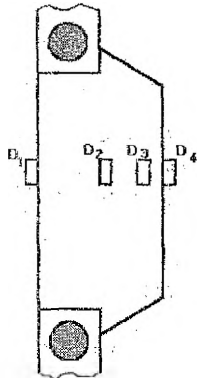


Рис. 13.1.

**1. Теоретическое определение напряжений и положения нулевой линии (н.л.).**

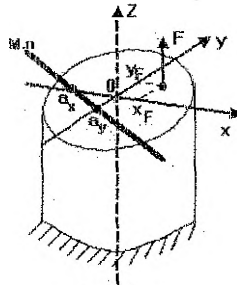


Рис. 13.2.

Внецентрированное растяжение является сложным сопротивлением. При этом в поперечном ее сечении действуют:

$$N, M_x, M_y, \text{ т.е. } N = F, \quad (13.1)$$

$$M_x = F \cdot Y_F; \quad M_y = F \cdot X_F,$$

где  $Y_F, X_F$  – координаты точки приложения силы  $F$ .

Нормальные напряжения в произвольной точке поперечного сечения бруса определяются по формуле:

$$\sigma = \frac{F}{A} + \frac{M_x}{J_y} Y + \frac{M_y}{J_x} X, \quad (13.2)$$

где  $F$  – внешняя сила,  $A$  – площадь поперечного сечения,  $J_x, J_y$  – главные центральные моменты инерции сечения  $X, Y$  – текущие координаты (координаты точек, где определяются напряжения).

С учетом (13.1) формула для напряжений примет вид:

$$\sigma = \frac{F}{A} \left( 1 + \frac{Y_F Y}{i_x^2} + \frac{X_F X}{i_y^2} \right), \quad (13.3)$$

$i_x^2 = \frac{J_x}{A}; \quad i_y^2 = \frac{J_y}{A}$  – квадрат радиусов инерции.

Из (13.3) получим отрезки, которые отсекает нулевая линия на координатных осях (рис. 13.2)

$$a_x = -\frac{i_y^2}{X_F}; \quad a_y = -\frac{i_y^2}{Y_F}; \quad (13.4)$$

В нашем случае линия действия силы проходит через ось  $X$ , тогда (13.3) и (13.4) примут вид:

$$\sigma = \frac{F}{A} \left( 1 + \frac{X_F \cdot X}{i_y^2} \right) \quad (13.5)$$

$$a_x = -\frac{i_y^2}{X_F}; \quad a_y = \infty \quad (13.6)$$

Анализ (13.5) показывает, что напряжения меняются по линейному закону. Нулевая линия параллельна оси  $Y$ , и ее положение не зависит от величины силы  $F$  (13.6).

## 2. Экспериментальное определение напряжений и положения нулевой линии

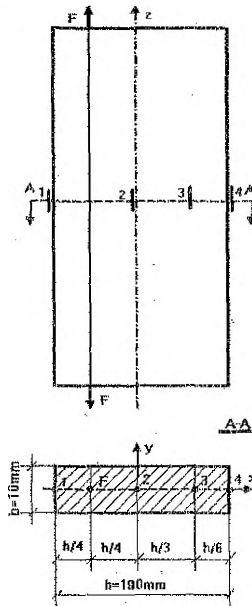


Рис. 13.3.

Напряжения определяем в заданных точках сечения (рис. 13.3) методом тензометрии. Для каждой точки снимаются показания тензостанции до и после нагружения и напряжения определяем по формуле

$$\sigma = \Delta p \cdot K_T, \quad (13.7)$$

где  $\Delta p = p_k - p_n$   
 $K_T = 2,1 \text{ МПа}$

Нагрузку берем  $F_1, F_2, F_3$  с любым шагом  $\Delta F$  максимальная нагрузка ( $F_{\text{max}}$ ) на опытный брус, исходя из требования испытания ( $\sigma_{\text{max}} \leq \sigma_{\text{pl}}$ ), не должна превышать 80кН, а с возможностями УММ-5 – 50кН;

### III. Порядок проведения испытаний

1. Ознакомиться с устройством машины УММ-5.
2. С помощью линейки с точностью до 1мм измеряем размеры сечения бруса  $h$ ,  $b$  и определяем положения датчиков в сечении.
3. Снимаем показания прибора АИД-4 тензостанции для каждого датчика в незагруженном состоянии.
4. Нагружаем брус силами  $F_i$  ( $\Delta F$  – любое), не превышающими  $F_{max}$ , и снимаем отсчеты по датчикам.
5. Результаты заносим в таблицу 1.

### IV. Обработка результатов

1. По формуле (13.5) определяем напряжения в точках: 1, 2, 3, 4 для каждого нагружения  $F_i$  и строим эпюры этих напряжений  $\sigma_i^T$ .
2. Определяем разность отсчетов  $\Delta n$  и по формуле (13.7) находим напряжения в заданных точках экспериментально  $\sigma_i^Э$ .
3. Строим графики зависимости  $\sigma_i^T - F_i$ .
4. Сравниваем напряжения  $\sigma_i^T$  и  $\sigma_i^Э$ , т.е. определяем процент погрешности.
5. Результаты заносим в таблицу 1.

Таблица 1.

Геометрические характеристики					№ п/п точек	$F_i$ (кН)	Отсчеты по тензомерам			Кт (МПа)	Напряжения (МПа)		%
b см	h см	A см <sup>2</sup>	$I_p^2$ см <sup>4</sup>	$X_i$ см			$n_n$	$n_k$	$\Delta n$		$\sigma_i^T$	$\sigma_i^Э$	
					1	$F_1$				2,1			
					2								
					3								
					4								
					1	$F_2$				2,1			
					2								
					3								
					4								
					1	$F_3$				2,1			
					2								
					3								
					4								

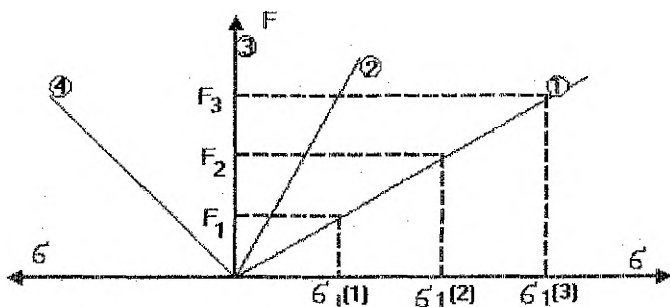


Рис. 13.4

### Выводы

1. Указать, выполняется ли закон Гука при внецентренном растяжении.
2. Подтвердить теоретический вывод о положении нейтральной линии при внецентренном растяжении и законе распределения нормальных напряжений.

### Контрольные вопросы

1. В чем заключается принцип независимости действия сил?
2. Сформулируйте цель работы.
3. Какой вид деформации называется внецентренным растяжением-сжатием?
4. По какой формуле определяются нормальные напряжения в произвольной точке поперечного сечения бруса при внецентренном растяжении-сжатии?
5. Как распределяются нормальные напряжения по поперечному сечению бруса при внецентренном растяжении-сжатии?
6. Какое положение занимает нейтральная линия в плоскости поперечного сечения бруса при внецентренном растяжении-сжатии?
7. Какие измерительные приборы использованы в опыте и что непосредственно ими измерялось?
8. Почему при испытании в сечении бруса нейтральная линия перпендикулярна одной из главных осей инерции?
9. Каково взаиморасположение точки приложения силы, центра тяжести сечения и нейтральной линии?
10. Подтверждает ли опыт закон распределения нормальных напряжений по поперечному сечению внецентренно растянутого бруса?
11. Как были получены экспериментальные значения напряжений?
12. Какие внутренние усилия возникают в бруске при внецентренном растяжении-сжатии?
13. Что называется ядром сечения?
14. Зачем надо знать очертания ядра сечения?

## Лабораторная работа №14

**Тема.** «Исследование напряжений в кривом брус».

**I. Цель работы.** Определение напряжений в кривом брус с построением их эпюр по высоте сечения.

**II. Содержание работы.** Кривые брусья широко используются в строительстве и технике. К ним относятся: крюки, проушины, звенья цепей, арки, своды, ободы шкивов, колес и т.д.

Как показывают исследования при изгибе распределение нормальных напряжений в поперечном сечении а также величина максимальных напряжений в кривом брус иные, нежели в балке с прямой осью.

Установка представляет собой круговой брус радиуса  $R$ , который подвержен растяжению силами  $F$  на машине УММ-5 (см. рис. 14.1).

В горизонтальном сечении бруса (A-A) в 9 точках наклеены датчики, с помощью которых определяются напряжения.

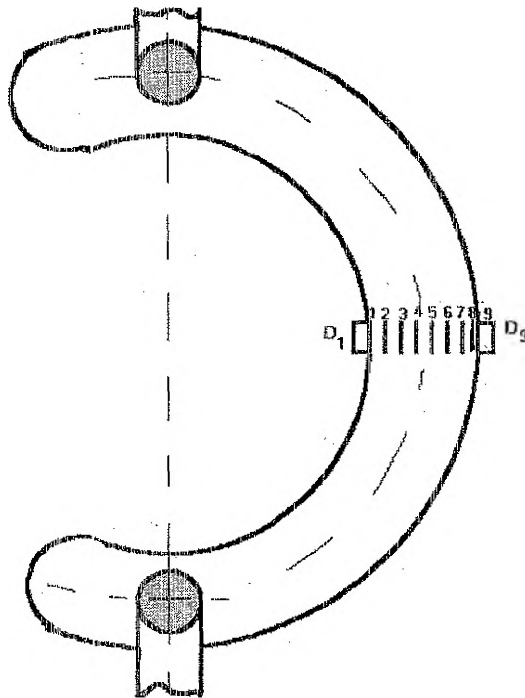


Рис. 14.1

# 1. Теоретическое определение напряжений

Брус и его размеры указаны на рис. 14.2

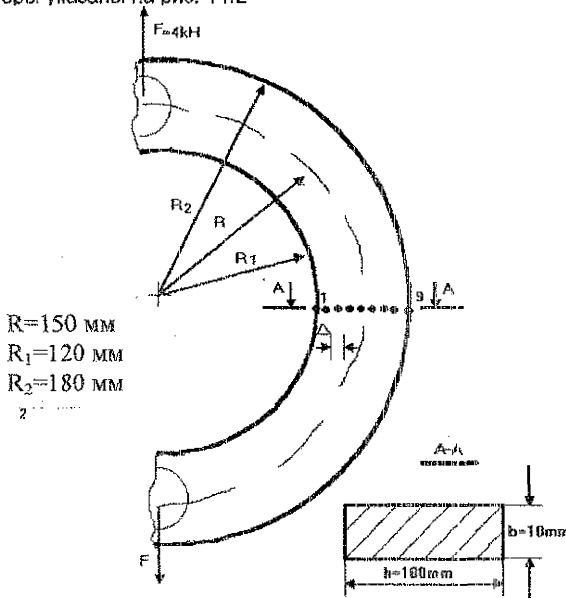


Рис.14.2

В поперечном сечении А-А наклеены 9 датчиков с шагом Δ.

В кривом бруске возникают одновременно нормальные напряжения от продольной (N) силы и изгибающего момента (M). Напряжения определяются по формуле:

$$\sigma = \frac{N}{A} \pm \frac{M Y}{S_x \rho} \tag{14.1}$$

где N = F – продольная сила;

A = b × h – площадь поперечного сечения бруса;

M = - F · R – изгибающий момент в сечении А – А (знак <>, т.к. кривизна бруса уменьшается;

S<sub>x</sub> = A · Y<sub>0</sub> – статический момент сечения относительно нейтральной линии при чистом изгибе;

Y<sub>0</sub> – расстояние от нейтральной линии до центра тяжести сечения; (Y<sub>0</sub> = R - r);

Y – координата точки, где определяются напряжения;

ρ = r + y – расстояние от центра кривизны бруса до точки, где определяются напряжения (текущий радиус);

г – расстояние от центра кривизны до нейтральной линии, зависящее от формы сечения бруса.

Для прямоугольного сечения:

$$g = \frac{h}{\ln \frac{R_2}{R_1}} \tag{14.2}$$

Расстояние от нейтральной линии до точки, в которой определяется напряжение, может быть найдено из выражения:

$$Y_n = -\frac{h}{2} + y_0 + \Delta(n-1) \quad (14.3)$$

где  $n$  – номер точки, в которой определяется напряжение;

$\Delta$  – шаг, с которым расположены датчики.

Примечание: при определении напряжений, необходимо учитывать знаки изгибающего момента ( $M$ ) и координаты точек ( $y$ ), где определяются напряжения.

Размеры и расстояния, указанные выше, даны на рис. 14.3.

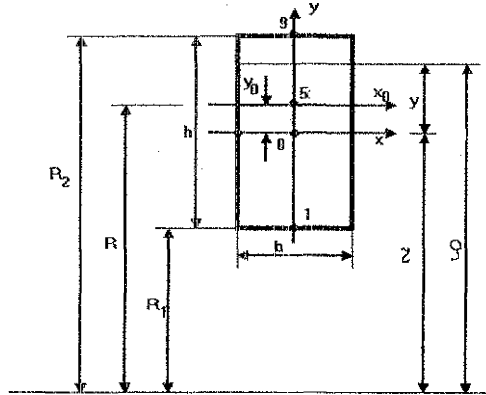


Рис. 14.3.

## 2. Экспериментальное определение напряжений

Экспериментально напряжения определяются методом электротензометрии:

$$\sigma = \Delta n \cdot K_T, \quad \text{где} \quad (14.4)$$

$$\Delta n = n_K - n_H; \quad K_T = 2,1 \text{ МПа}$$

## III. Порядок проведения испытаний

1. Ознакомиться с устройством машины УММ-5.
2. С помощью линейки и штангенциркуля с точностью до 0,1 мм измеряем размеры сечения бруса  $h$  и определяем положения датчиков в сечении.
3. Снимаем показания прибора АИД-4 тензостанции для каждого датчика в незагруженном состоянии.
4. Нагружаем брус силой  $F$  и снимаем отсчеты по датчикам.
5. Результаты заносим в таблицу 1.

## IV. Обработка результатов

1. По формуле (14.1) определяем напряжения в точках: 1, 2, 3.....9 и строим эпюры  $\sigma_y$ ;  $\sigma_x$ ;  $\sigma$
2. Определяем разность отсчетов  $\Delta n$  и по формуле (14.4) находим напряжения в заданных точках экспериментально.
3. Сравниваем напряжения, полученные экспериментально и теоретически, определяем процент погрешности.
4. Результаты заносим в таблицу 1.



Таблица 1

N п/п	Y <sub>n</sub> мм	ρ <sub>n</sub> мм	σ <sub>N</sub> (МПа)	σ <sub>M</sub> (МПа)	σ <sub>T</sub> (МПа)	Отсчеты		Δn	σ <sup>э</sup> (МПа)	%
						пн F=0	пк F≠0			
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										

**Выводы**

1. Дать оценку теоретическим и экспериментальным данным.
2. Закон изменения напряжений и сравнить его с законом изменения напряжений для прямого бруса.

**Контрольные вопросы**

1. По какому признаку кривые стержни делят на стержни большой и малой кривизны?
2. По какой формуле проводилось теоретическое определение напряжений в исследуемых точках?
3. Как определить напряжения в заданных точках экспериментально?
4. По какому закону изменяются напряжения в кривом брус?
5. Где находится нулевая линия в кривом брус при чистом изгибе?
6. Как определяли положение нулевой линии для заданного кривого бруса?
7. Зависит ли положение нулевой линии от формы поперечного сечения бруса?

**Лабораторная работа № 15**

Тема. «Исследование продольного изгиба стержня в упругой стадии».

**I. Цель работы.** Провести наблюдение над явлением потери устойчивости стального стержня. Определить опытным путем величину критической силы и сравнить ее величину с расчетной. Вычислить критическое напряжение и сравнить его с пределом текучести (σ<sub>y</sub>).

**II. Содержание работы.** Сжатый стержень большой гибкости при определенном значении сжимающей его силы, называемой критической, выходит из состояния устойчивого равновесия. При этом стержень с прямой осью несколько искривляется. Вид кривой зависит от способа закрепления его концов.

Для выполнения лабораторной работы используется установка, показанная на рисунке 15.1.

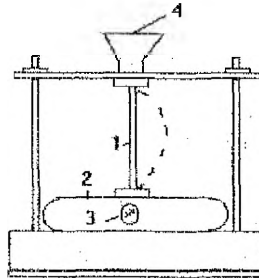


Рис. 15.1.

1 – испытуемый образец, 2 – силоизмеритель, 3 – индикатор, 4 – винт нагружения

### 1. Теоретическое определение критической силы и критических напряжений

При вычислении критической силы ( $F_{кр}$ ) необходимо знать гибкость стержня, которая определяется по формуле:

$$\lambda = \frac{\mu l}{i_{min}} \quad (15.1)$$

где  $l$  – длина стержня;

$\mu$  – коэффициент приведения длины стержня к расчетной;

$i_{min}$  – минимальный радиус инерции сечения стержня;

$$i_{min} = \sqrt{\frac{J_{min}}{A}}; \quad (15.2)$$

$J_{min}$  – минимальный центральный момент инерции сечения;

$A$  – площадь поперечного сечения стержня.

Если  $\lambda \geq \lambda_{пред}$ , то значение критической силы определяется по формуле Эйлера:

$$F_{кр} = \frac{\pi^2 E J_{min}}{(\mu l)^2}; \quad (15.3)$$

Если  $\lambda < \lambda_{пред}$ , то следует пользоваться формулой Ясинского-Тетмайера:

$$F_{кр} = (a - b\lambda) \cdot A; \quad (15.4)$$

где  $a$  и  $b$  – коэффициенты, определяемые из справочника в зависимости от материала стержня.

Предельное значение гибкости определяется по формуле:

$$\lambda_{пред} = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{\sigma_{пр}}}; \quad (15.5)$$

Критические напряжения определяются по формуле

$$\sigma_{кр} = \frac{F_{кр}}{A}; \quad (15.6)$$

### 2. Экспериментальное определение критической силы и критических напряжений

Закрепив испытуемый образец (1), постепенно нагружаем стержень при помощи винта (4) и следим за показаниями индикатора (3).

Экспериментальное значение критической силы определяем по формуле:

$$F_{кр}^э = n \cdot c; \quad (15.7)$$

где  $n$  – число делений;  $c$  – цена деления индикатора силоизмерителя.

### III. Порядок проведения испытаний

1. С помощью штангенциркуля измерить размеры поперечного сечения стержня с точностью до 0,1 мм, а линейкой – длину стержня, с точностью до 1 мм, результаты измерений заносим в табл. 1.
2. Образец закрепляется в приспособлении для испытаний (рис. 15.1).
3. Постепенно увеличивая нагрузку, фиксируем максимальное отклонение стрелки силоизмерителя.
4. По формуле (15.7) определяем экспериментально величину критической силы.
5. Результаты заносятся в таблицу 1.

### IV. Обработка результатов

1. Опытным путем определяем критическую силу (15.7).
2. Определяем критические напряжения.  $\sigma_{кр}^o = \frac{F_{кр}^o}{A}$
3. Определяем теоретически критическую силу и критические напряжения (15.3); (15.6).
4. Сравниваем экспериментальные и теоретические величины.

### Выводы

В выводах указать, подтверждается ли формула Эйлера для сжатого стержня большой гибкости. Дать объяснение, почему теоретическая критическая сила больше экспериментальной. Подтверждается ли теоретический характер искривления оси стержня, утратившего устойчивость.

Таблица 1

№ п/п	Длина мм	Способ закрепления	$\mu$	Форма поперечного сечения и его размеры	$\lambda = \frac{\mu l}{i_{min}}$	Критическая сила (Н)		F <sub>кр</sub> %	Критическое напряжение (МПа)	
						F <sub>кр</sub> <sup>т</sup>	F <sub>кр</sub> <sup>о</sup>		$\sigma_{кр}^t$	$\sigma_{кр}^o$
1	500		2							
2	350		1							
3	350		0,7							
4	350		0,5							

### Контрольные вопросы

1. Сформулируйте цель лабораторной работы.
2. Какую силу называют критической и каково поведение стержня, сжатого этой силой?
3. Как влияет способ закрепления стержня на величину критической силы?
4. Как влияет форма поперечного сечения сжатого стержня на величину критической силы при прочих равных условиях?
5. Как определяется критическая сила? Запишите формулу Эйлера для сжатых стержней.
6. По какой формуле определяется гибкость стержня?
7. Что такое предельная гибкость, по какой формуле она определяется и для чего используется?
8. Какие измерительные приборы используются в лабораторной работе и что они измеряют?
9. Изобразите схему испытания стержня.
10. Превышало ли критическое напряжение в стержне предел пропорциональности материала?
11. Применяли ли формулу Эйлера для практических целей?

### Лабораторная работа №16

**Тема.** «Определение динамического коэффициента при изгибающем ударе».

**I. Цель работы.** Определение динамического коэффициента при поперечном ударе.

**II. Содержание работы.** В курсе «Сопротивление материалов» излагается приближенная теория удара, основанная на двух допущениях, т.е. удар считается неупругим и ударяемая система принимается с одной степенью динамической свободы.

Выведенные на основе этих допущений формулы приближенные и, естественно, требуют проверки.

В работе исследуется случай, при котором удар направлен перпендикулярно оси стержня. Такой удар называется поперечным.

Переносная установка СМ-21М представляет собой стальную балку, прямоугольного сечения, лежащую на двух шарнирных опорах (рис. 16.1).

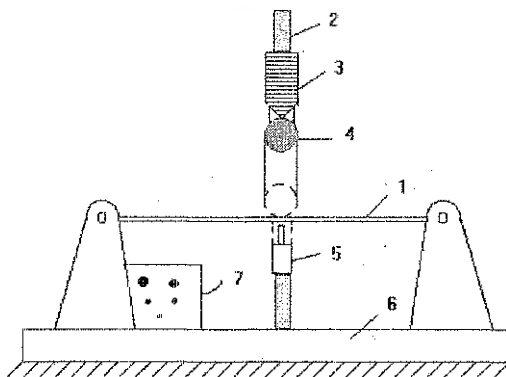


Рис. 16.1

- 1 – балка, 2 – штатив, 3 – электромагнит, 4 – груз (шарик), 5 – микрометр, 6 – станина, 7 – пульт управления

Груз весом  $G$  удерживается над балкой при помощи электромагнита.

Статический  $f_{cm}^I$  и динамический  $f_d^{\partial}$  прогибы определяются с помощью микрометри-

ческого винта, установленного под балкой 1.

Экспериментально динамический коэффициент  $K_d$  определяется по формуле:

$$K_d^{\partial} = \frac{f_d^{\partial}}{f_{cm}^{\partial}}; \quad (16.1)$$

Теоретически динамический коэффициент  $K_d$  при ударе  $G$  (рис. 16.2), падающего на балку с высоты  $H$  определяется по формуле:

$$K_d^T = 1 + \sqrt{1 + \frac{2H}{f_{cr}^T + \left(1 + \eta \frac{Q}{G}\right)}}; \quad \text{где} \quad (16.2)$$

$H$  – высота падения ударяющего тела;

$G$  – вес ударяющего тела (шарик)

$Q$  – вес удаляемой системы (балка)

$\eta$  – коэффициент, зависящий от способа закрепления балки и места падения груза (шарика).

В нашем случае  $\eta = 17/35$ .

$f_{cm}^I$  – статический прогиб в направлении удара.

Для балки на двух опорах наибольший статический прогиб от силы, приложенной в середине пролета, равен:

$$f_{cr}^T = \frac{G \cdot l^3}{48EJ_x}; \quad (16.3)$$

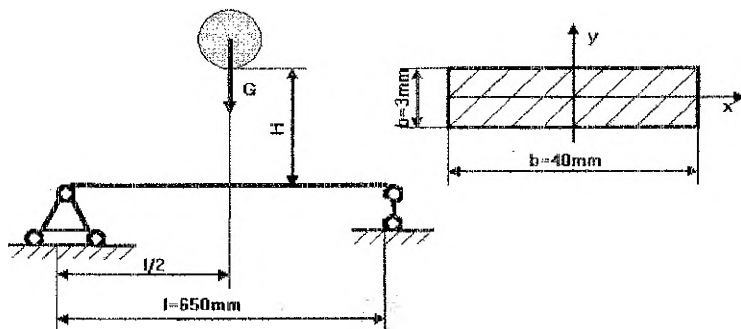


Рис. 16.2

### III. Порядок проведения эксперимента

1. Вращая микрометрический винт микрометра (5), убирается зазор между (5) и балкой (1). Электрическая цепь замыкается, о чем свидетельствует сигнальная лампочка «контакт» на пульте (7). Берется отсчет ( $f_0$ ) по микрометру (5) с точностью до 0,01 мм.
2. Кладется груз весом  $G$  (шарик) на середину балки и вращая микрометрический винт (5) берётся отсчет ( $f_{cm}$ ).

3. Устанавливается груз (шарик) на высоту  $H$ , предварительно включив на пульте (7) электромагнит (3).
4. Отключив электромагнит (3), наносится удар по балке (1).
5. При помощи микрометра (5) берется отсчет ( $h_a$ ), при котором будет контакт между винтом (5) и балкой (1).

#### IV. Обработка результатов испытаний

1. Определяются статический  $f_{cm}^s$  и динамический  $f_d^s$  прогиб балки:

$$f_{cm}^s = h_{cm} - h_0; \quad f_d^s = h_a - h_0.$$

2. Вычисляется динамический коэффициент  $K_d^s$  по формуле (16.2), где

$$G = mg; \quad (m = 70 \text{ гр.} \quad g = 9,81 \text{ м/сек}^2)$$

$$Q = \gamma V = \gamma \cdot A \cdot l = \gamma b \cdot h \cdot l; \quad (\gamma = 78,5 \text{ кН/м}^2)$$

$b, h, l$  – размеры балки

$f_{cm}^s$  определяется по формуле (16.3), которую можно преобразовать к виду:

$$f_{cm}^s = \frac{mg l^3}{4Ebh^3}; \quad (16.4)$$

Результаты испытаний заносятся в таблицу 1.

Таблица 1

№ п/п	Высота $H$ (мм)	Статич. прогибы, мм		% ошибки	Динам. прогибы, мм		% ошибки	Динамич. коэффициенты		% ошибки
		$f_{cm}^s$	$f_{cm}^s$		$f_d^s$	$f_d^s$		$K_d^s$	$K_d^s$	
1										
2										
3										
4										

#### Выводы по работе

#### Контрольные вопросы

1. Что называется динамическим коэффициентом и что он характеризует?
2. Как было найдено в работе экспериментальное значение динамического коэффициента?
3. Напишите формулу для динамического коэффициента при ударе падающего груза. Поясните входящие в нее величины.
4. Как влияет соотношение веса ударяющего тела и ударяемой системы на величину динамического коэффициента?
5. Чему равен динамический коэффициент при внезапном приложении нагрузки?

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

Составители: Веремейчик Андрей Иванович  
Даркович Сергей Семенович  
Мартиновский Владимир Леонидович  
Соловей Павел Иванович  
Сырица Игорь Станиславович  
Трусь Александр Михайлович  
Хвисевич Виталий Михайлович

# ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

## по сопротивлению материалов

для студентов строительных и механических специальностей  
дневной и заочной форм обучения  
(Часть 2)

Ответственный за выпуск: Хвисевич В.М.  
Редактор: Строкан Т.В.  
Компьютерная верстка: Боровикова Е.А.  
Корректор: Никитчик Е.В.  
Технический редактор: Никитчик А.Д.

---

Подписано к печати 5.05.2005 г. Бумага писчая. Гарнитура Arial Narrow. Усл. печ. л. 1,86.  
Уч.-изд. л. 2,0. Заказ № 5558. Тираж 100 экз. Отпечатано на ризографе учреждения  
образования «Брестский государственный технический университет».  
224017, г. Брест, ул. Московская, 267.