

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО
ПРИБОРОСТРОЕНИЯ»

КАФЕДРА № 1

ОТЧЕТ
ЗАЩИЩЕН С ОЦЕНКОЙ
РУКОВОДИТЕЛЬ

доцент, канд.техн.наук
должность, уч. степень, звание

подпись, дата

В. Б. Коцкович
инициалы, фамилия

ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ №2

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИИ ПЛОСКОГО ИЗГИБА КОНСОЛЬНОГО
СТЕРЖНЯ ПРЯМОУГОЛЬНОГО ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ

по дисциплине: МЕХАНИКА

РАБОТУ ВЫПОЛНИЛ

СТУДЕНТ ГР.

M251

подпись, дата

А.Д. Бутенко
инициалы, фамилия

Санкт-Петербург
2024

1. Цель работы: экспериментальное исследование прогибов консольного стержня прямоугольного поперечного сечения при плоском изгибе.

2. Описание лабораторной установки:

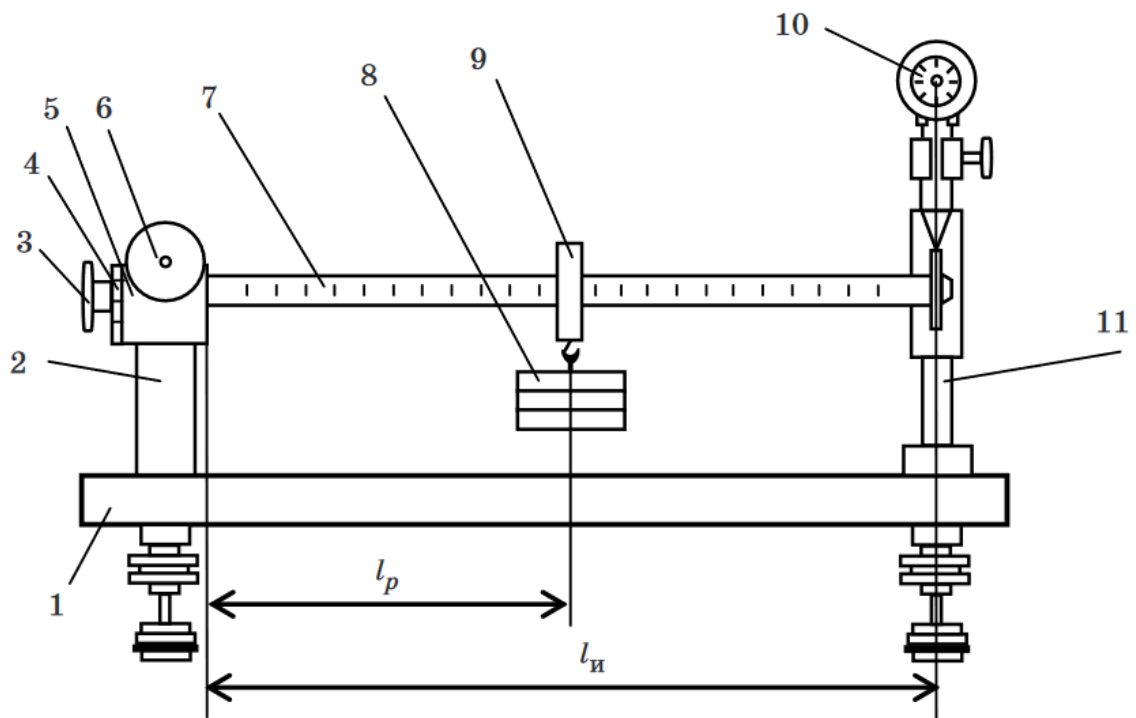


Рис 1 – Схема лабораторной установки

Схема лабораторной установки приведена на рис. 1. Она состоит из массивной платформы 1 со стойкой 2, на которой закреплен объект исследования - стержень 7.

Стержень 7 представляет собой стальную линейку длиной $l = 500$ мм и размером поперечного сечения $b \cdot h - 31 \cdot 7$ мм². Стержень 7 закреплен на стойке 2 с помощью муфты 5 стопорным винтом 6. На левом торце стержня закреплен диск 4 со шкалой углового положения объекта исследования. Угол наклона, а главной оси инерции поперечного сечения к вертикальному направлению указан на шкале. Угол наклона, а устанавливается по шкале диска 4 при освобождении стопорного винта 6 с помощью поворотного винта 3. Нагружение стержня осуществляется грузами 8. Грузы 8 подвешиваются к наружному кольцу подшипника 9 с помощью специального крючка. Подшипник 9 обеспечивает вертикальное положение грузов 8 в независимости от положения стержня 7. Для измерения прогиба конца стержня используется индикатор 10, закрепленный на стойке 11.

3. Результаты измерений и вычислений:

Таблица 1- Результаты измерений для угла поворота 0 градусов

Расстояние, мм	250	300	350	400
Масса, кг				
1	0,04	0,07	0,08	0,1
2	0,1	0,14	0,16	0,2
3	0,15	0,2	0,25	0,32
4	0,23	0,28	0,35	0,42
$f_{\text{э}}$	0,13	0,173	0,21	0,26

Таблица 2 - Результаты измерений для угла поворота 90 градусов

Расстояние, мм	250	300	350	400
Масса, кг				
1	0,85	1,19	1,5	1,89
2	1,72	2,42	3,05	3,85
3	2,64	3,64	4,6	5,75
4	3,54	4,83	6,16	7,63
$f_{\text{э}}$	2,1875	3,2	3,8275	4,78

Таблица 3 - Вычисление $f_{\text{т}}$ угла поворота 0 градусов

Расстояние, мм	250	300	350	400
Масса, кг				
1	-0,03746	-0,05395	-0,06755	-0,0844
2	-0,07493	-0,10358	-0,13511	-0,1688
3	-0,11239	-0,15537	-0,20266	-0,25319
4	-0,14985	-0,20716	-0,27022	-0,33759

Таблица 4 - Вычисление $f_{\text{т}}$ угла поворота 90 градусов

Расстояние, мм	250	300	350	400
Масса, кг				
1	-0,73474	-1,01571	-1,32488	-1,65522
2	-1,46948	-2,03141	-2,64977	-3,31045
3	-2,20422	-3,04712	-3,97465	-4,96567
4	-2,93896	-4,06282	-5,29954	-6,6209

Таблица 5 — Вычисление погрешностей для угла поворота 0 градусов

Расстояние, мм	250	300	350	400
Масса, кг				
1	5,47004	4,10405	3,47911	2,98417
2	3,2349	2,61676	2,23946	1,99208
3	2,49002	2,07784	1,82633	1,66141
4	2,11754	1,80838	1,61973	1,49606

Таблица 6 - Вычисление погрешностей угла поворота 90 градусов

Расстояние, мм	250	300	350	400
Масса, кг				
1	4,97724	3,74433	3,20566	2,76547
2	2,98862	2,43853	2,10283	1,88273
3	2,32575	1,95902	1,73522	1,58849
4	1,93896	1,71926	1,55141	1,44137

3.1. Исследование косого изгиба:

Таблица 7 — Результаты измерений (45 градусов).

Расстояние, мм	250		300		350		400	
Масса, кг								
1	0,36	0,45	0,51	0,64	0,63	0,81	0,81	1,01
2	0,71	0,9	1,01	1,29	1,29	1,64	1,62	2,06
3	1,09	1,38	1,53	1,94	1,97	2,48	2,46	3,1
4	1,46	1,86	2,03	2,58	2,62	3,31	3,27	4,12
fVi, fHi	0,905	1,148	1,27	1,613	1,628	2,06	2,04	2,573
f _{эi}	1,43283		1,69784		1,92042		2,14779	

Таблица 8 — Теоретический расчёт

Расстояние, мм	250	300	350	400
Масса, кг				
1	0,037464	0,05179	0,067554	0,084398
2	0,074927	0,103579	0,135109	0,168796
3	0,112391	0,155369	0,202663	0,253194
4	0,149854	0,207158	0,270217	0,337592

Таблица 9 — Погрешности

Расстояние, мм	250	300	350	400
Масса, кг				
1	1,97278	1,78001	1,67397	1,61026
2	1,64193	1,56633	1,52453	1,149907
3	1,5519	1,50772	1,46387	1,4647
4	1,51178	1,48122	1,66483	1,145303

4. Рабочие формулы:

$$f_{эi} = \frac{\sum_{j=1}^n C_j}{n} \quad (1)$$

$f_{эi}$ - экспериментальное значение прогибов, для каждой подвешиваемой массы.

C_j - показания индикатора, где $j=1 \dots 4$ - количество измерений.

$$f_{Ti} = \frac{P_i l_p^2}{6EI} * (3l_u - l_p) \quad (2)$$

f_{Ti} – теоретический расчет прогибов.

l_p – расстояние от заземленного конца стержня до точки.

l_u – расстояние от заземленного конца стержня до точки контакта индикатора со стержнем.

E – модуль Юнга первого рода (для стали $E=200$ ГПа).

I – момент инерции поперечного сечения.

$$\gamma_{fi} = \frac{f_{Ti} - \Delta f_{pi}}{f_{Ti}} * 100\% \quad (3)$$

γ_{fi} – погрешность эксперимента.

Δf_{pi} – приращение прогиба.

$$\gamma = \arctg\left(\frac{f_{Ti}}{l_p}\right) \quad (4)$$

$$\Delta f_{ui} = (l_{ui} + l_{pi}) * tg\gamma \quad (5)$$

Δf_{ui} – приращение прогиба

$$\Delta f_{pi} = f_{\varepsilon i} - f_{ui} \quad (6)$$

Δf_{pi} – приращение прогиба на участке

5. Примеры вычислений:

Для 0 градусов:

$$f_{\varepsilon i} = \frac{\sum_i^n = 1C_j}{n} = \frac{0,05 + 0,1 + 0,16 + 0,22}{4} = 0,13$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{7 * 31^3}{12} = 17378$$

$$f_{Ti} = -\frac{P_i l_p^2}{6EI} * (3l_u - l_p) = -\frac{10 * 250^2 * (3 * 500 - 250)}{6 * 200 * 17378} = -0,0374636$$

$$\gamma = \arctg\left(\frac{f_{Ti}}{l_p}\right) = \arctg\left(\frac{-0,0374636}{250}\right) = -0,000149854$$

$$\gamma_{fi} = \frac{f_{Ti} - \Delta f_{pi}}{f_{Ti}} * 100\% = \frac{-0,0374636 - 0,1674636}{-0,0374636} * 100\% = 5,47004\% \approx 5,47\%$$

Для 90 градусов:

$$f_{\varepsilon i} = \frac{\sum_i^n = 1C_j}{n} = \frac{0,85 + 1,73 + 2,66 + 3,55}{4} = 2,1$$

$$I = \frac{bh^3}{12} = \frac{31 * 7^3}{12} = 886,0833$$

$$f_{Ti} = -\frac{P_i l_p^2}{6EI} * (3l_u - l_p) = -\frac{10 * 250^2 * (3 * 500 - 250)}{6 * 200 * 886,0833} = -0,73474$$

$$\gamma = \arctg\left(\frac{f_{Ti}}{l_p}\right) = \arctg\left(\frac{-0,73474}{250}\right) = -0,002938955$$

$$\Delta f_{ni} = (l_u - l_{pi})tg\gamma = (500 - 250) * -0,002938955 = -0,734740901$$

$$\Delta f_{pi} = f_{\exists i} - \Delta f_{ni} = 2,1875 - (-0,734740901) = 2,922240901$$

$$\gamma_{fi} = \frac{f_{Ti} - \Delta f_{pi}}{f_{Ti}} * 100\% = \frac{-0,73474 - 2,922240901}{-0,73474} * 100\% = 4,97724\% \approx 4,98\%$$

Для 45 градусов:

$$f_y = -\frac{P_i l_p^2}{6EI} * (3l_u - l_p) * \sin(\alpha) = -\frac{10 * 250^2 * (3 * 500 - 250)}{6 * 200 * 886,0833} * \sin(45) = -0,625194$$

$$f_z = -\frac{P_i l_p^2}{6EI} * (3l_u - l_p) * \cos(\alpha) = -\frac{10 * 250^2 * (3 * 500 - 250)}{6 * 200 * 886,0833} * \cos(45) = 0,385976$$

$$\varphi = \arctg\left(\frac{f_y}{f_z}\right) = \arctg\left(\frac{-0,625194}{0,385976}\right) = -1,0177$$

$$\beta = \varphi - \alpha = -1,0177 - 45 = -46,0177$$

$$f_{TiV} = f_{Ti} \cos(\beta) = 0,0374636 * \cos(-46,0177) = 0,0167864$$

$$f_{TiH} = f_{Ti} \sin(\beta) = 0,0374636 * \sin(-46,0177) = -0,0334924$$

$$\gamma_{fiV} = \frac{f_{Ti} - \Delta f_{piV}}{f_{Ti}} * 100\% = \frac{0,0374636 - 0,0167864}{0,0374636} * 100\% = 0,551928\% \approx 0,55\%$$

$$\gamma_{fiH} = \frac{f_{Ti} - \Delta f_{piH}}{f_{Ti}} * 100\% = \frac{0,0374636 - (-0,0334924)}{0,0374636} * 100\% = 1,894\% \approx 1,89\%$$

$$\gamma_{fi} = \sqrt{\gamma_{fiV}^2 + \gamma_{fiH}^2} = \sqrt{0,55^2 + 1,89^2} = 1,9684\% \approx 1,97\%$$

6. Вывод:

В ходе выполнения лабораторной работы были изучены виды изгиба вала. В работе были исследованы плоский изгиб вала и косой изгиб. Были проведены теоретические расчёты и вычислены погрешности, значения которых свидетельствуют о правильности проведения испытаний