

Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана

Ж У Р Н А Л
лабораторных занятий по курсу
«СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ»
ЧАСТЬ 2

Фамилия, и.о. студента _____

Факультет _____ Группа _____ 200 учебный год

РАБОТА №8.
ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ И ПЕРЕМЕЩЕНИЙ В ПЛОСКОЙ РАМЕ

1. Цель работы:
2. Характеристика лабораторной установки:

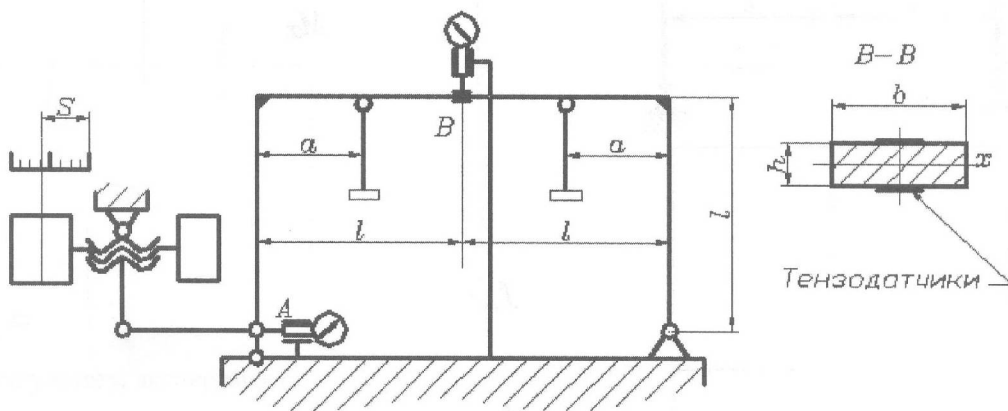


Рис. 8.1 Схема установки.

Размеры рамы и геометрические характеристики ее сечения:

$l =$ мм, $a =$ мм, $h =$ мм, $b =$ мм.

Осей момент инерции
поперечного сечения

$$I_x = \frac{1}{12}bh^3 =$$

Момент сопротивления
поперечного сечения изгибу

$$W_x = \frac{1}{6}bh^2 =$$

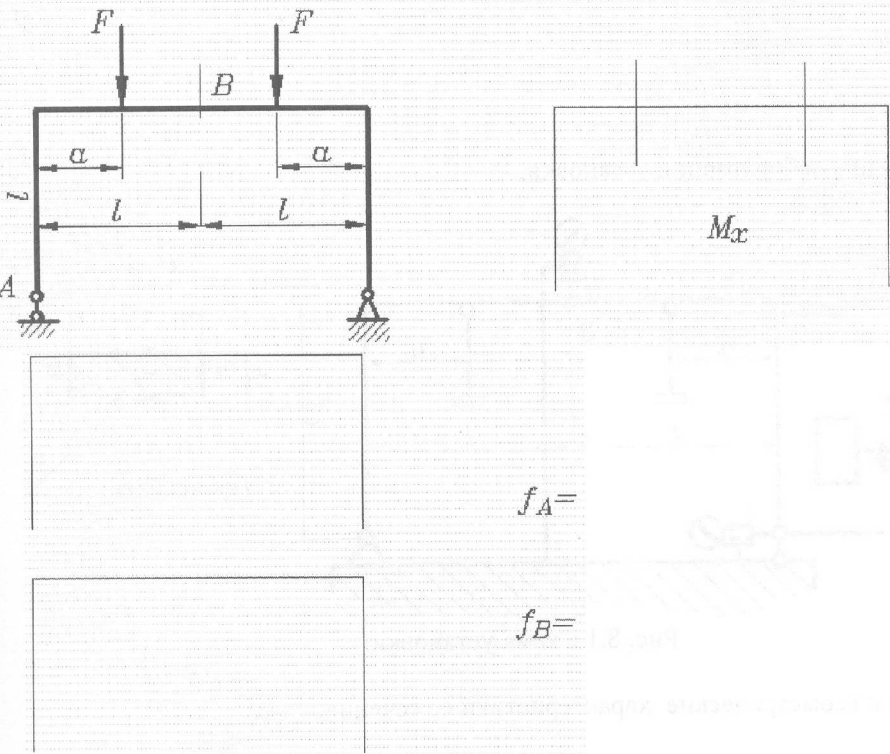
Материал: сталь Ст.3, модуль упругости $E = 2 \cdot 10^5$ МПа.
 S - смещение грузов от положения равновесия.

Цена деления шкалы смещения грузов $K_s =$ Н/мм,

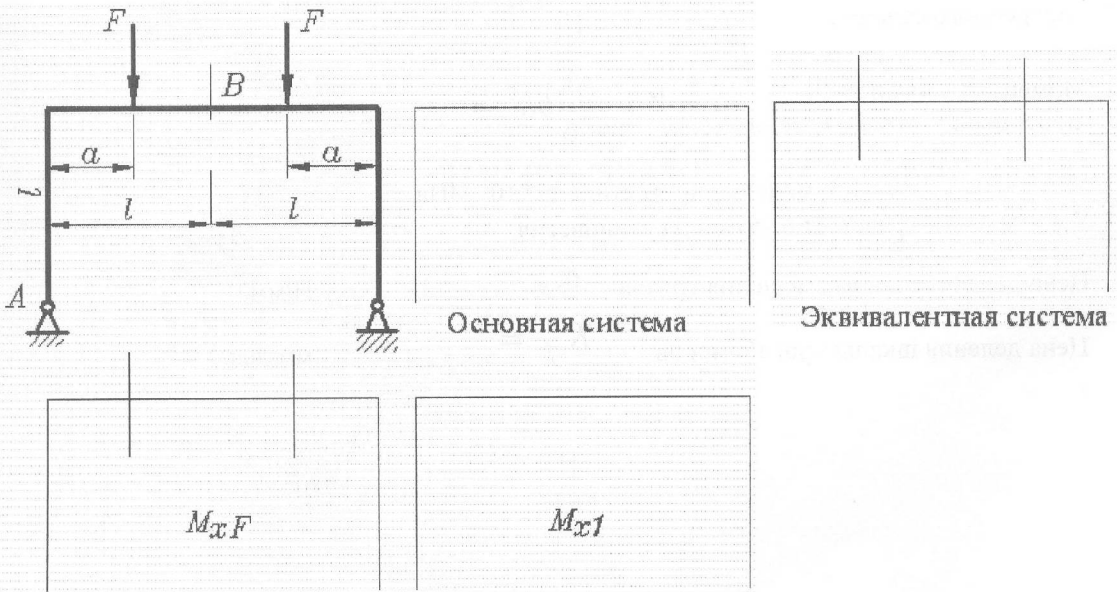
Цена деления шкалы прогибомеров $K_f =$ мм/дел.

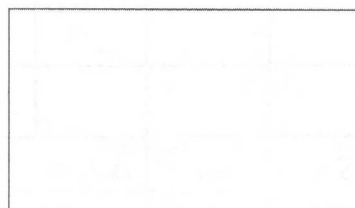
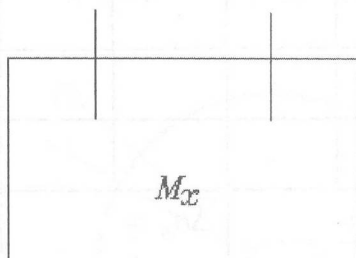
3. Теоретический расчет.

3.1. Статически определимая плоская рама



3.2. Статически неопределимая плоская рама





$$f_B =$$

4. Результаты эксперимента.

4.1. Статически определимая плоская рама.

Таблица 8.1

Сила $F, \text{Н}$	Смещение грузов		Измеритель деформации		Прогибомер сечение А		Прогибомер сечение В	
	$S, \text{мм}$	$\Delta S, \text{мм}$	n_ε	Δn_ε	n_A	Δn_A	n_B	Δn_B
$\Delta F =$	$\overline{\Delta S} = \text{мм}$		$\overline{\Delta n_\varepsilon} =$		$\overline{\Delta n_A} =$		$\overline{\Delta n_B} =$	

Линейная деформация

$$\Delta \varepsilon = K_\varepsilon \cdot \overline{\Delta n_\varepsilon} =$$

Нормальное напряжение

$$\Delta \sigma = E \cdot \Delta \varepsilon =$$

Линейное перемещение сечения А

$$\Delta f_A = K_f \cdot \overline{\Delta n_A} =$$

Линейное перемещение сечения В

$$\Delta f_B = K_f \cdot \overline{\Delta n_B} =$$

Сила $F, Н$	Смещение грузов		Измеритель деформации		Прогибомер сечение А		Прогибомер сечение В	
	$S, мм$	$\Delta S, мм$	n_ε	Δn_ε	n_A	Δn_A	n_B	Δn_B
$\Delta F =$	$\overline{\Delta S} =$ мм		$\overline{\Delta n_\varepsilon} =$		$\overline{\Delta n_A} =$		$\overline{\Delta n_B} =$	

Реакция отброшенной связи

$$\Delta X_1 = K_s \cdot \overline{\Delta S} =$$

Линейная деформация

$$\Delta \varepsilon = K_\varepsilon \cdot \overline{\Delta n_\varepsilon} =$$

Нормальное напряжение

$$\Delta \sigma = E \cdot \Delta \varepsilon =$$

Линейное перемещение сечения А

$$\Delta f_A = K_f \cdot \overline{\Delta n_A} =$$

Линейное перемещение сечения В

$$\Delta f_B = K_f \cdot \overline{\Delta n_B} =$$

5. Сопоставление результатов расчета и эксперимента.

Таблица 8.3

Параметр	$f_A, мм$	$X_1, Н$	$\frac{\sigma_{ст.опр}}{\sigma_{ст.неопр}}$	$\frac{f_{Вст.опр.}}{f_{Вст.неопр.}}$
Теория				
Эксперимент				
Погрешность, %				

Подпись преподавателя: _____

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ В СТЕРЖНЕ БОЛЬШОЙ КРИВИЗНЫ ПРИ ВНЕЦЕНТРЕННОМ РАСТЯЖЕНИИ

1. Цель работы:

2. Характеристика лабораторной установки.

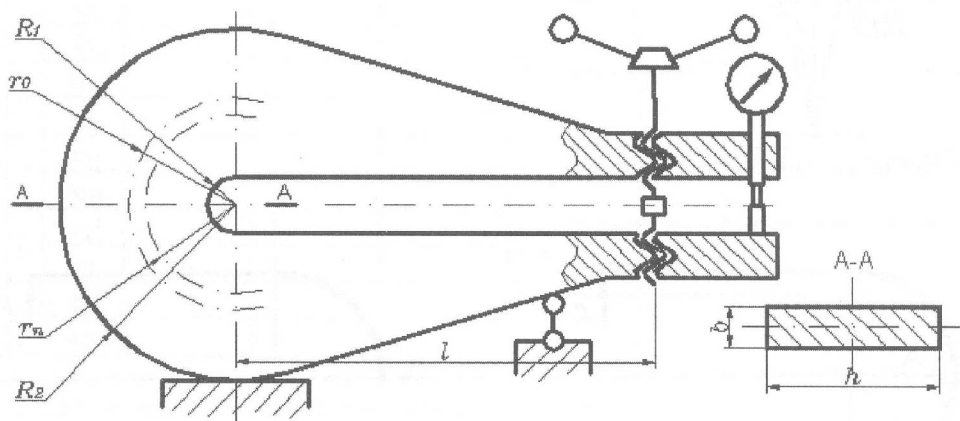


Рис. 9.1. Схема установки.

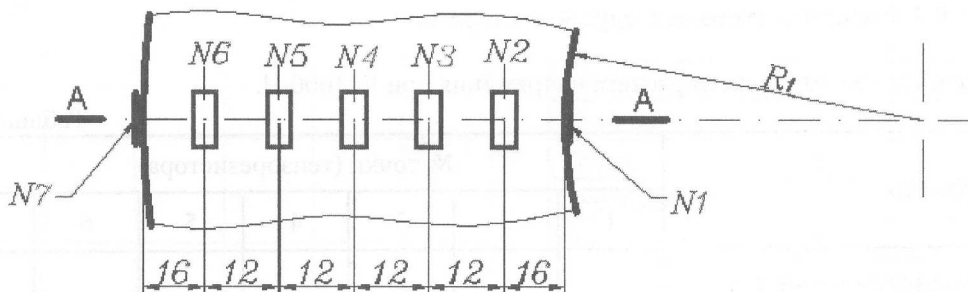


Рис. 9.2. Схема расположения тензорезисторов.

Размеры стержня: $R_1 =$ мм, $R_2 =$ мм, $r_0 =$ мм,

$h =$ мм, $b =$ мм, $l =$ мм, $A = hb =$ мм².

Материал стержня: сталь 45, модуль упругости $E = 2 \cdot 10^5$ МПа

Цена деления шкалы измерителя деформации $K_\epsilon =$ 1/дел.

4. Результаты эксперимента.

Таблица 9.2.

Нагрузка $F, \text{Н}$		500	1500	2500
Номер тензорезистора	1	n_1		
		Δn_1		
	2	n_2		
		Δn_2		
	3	n_3		
		Δn_3		
	4	n_4		
		Δn_4		
	5	n_5		
		Δn_5		
	6	n_6		
		Δn_6		
	7	n_7		
		Δn_7		

Таблица 9.3.

№ точки	Δn_i	$\Delta \varepsilon_i = K_\varepsilon \cdot \overline{\Delta n_i}$	$\Delta \sigma_i = E \cdot \Delta \varepsilon_i$
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			

5. Сопоставление результатов расчета и эксперимента.

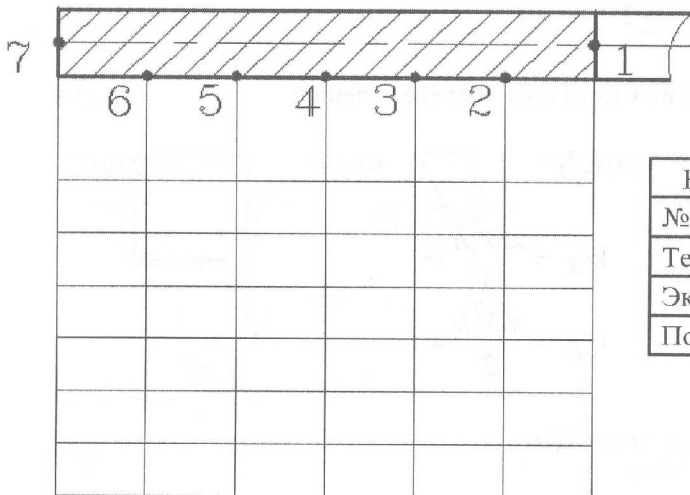


Таблица 9.4.

Нормальное напряжение $\sigma, \text{МПа}$		
№ точки	1	7
Теория		
Эксперимент		
Погрешность, %		

Рис. 9.5. Эпюра нормальных напряжений

— - теория.
* - эксперимент

Подпись преподавателя _____

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ В СТЕРЖНЕ ПРИ СОВМЕСТНОМ ИЗГИБЕ И КРУЧЕНИИ МЕТОДОМ ТЕНЗОМЕТРИИ

1. Цель работы:

2. Характеристика лабораторной установки.

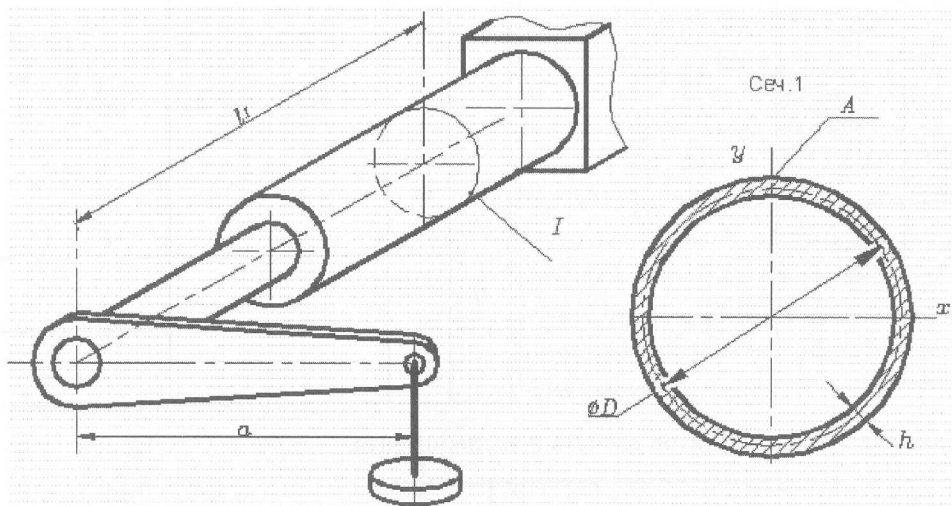


Рис. 10.1. Схема установки.

Размеры стержня и геометрические характеристики его сечения:

$D=$ мм, $h=$ мм, $I_I=$ мм, $a=$ мм.

Момент сопротивления сечения
изгибу

$$W_X = \frac{\pi D^2 h}{4} =$$

Момент сопротивления сечения
кручению

$$W_K = \frac{\pi D^2 h}{2} =$$

Материал стержня: Алюминиевый сплав Д16.

Модуль упругости: $E=0.7 \cdot 10^5$ МПа.

Коэффициент Пуассона: $\nu=0,33$.

3. Теоретический расчет.

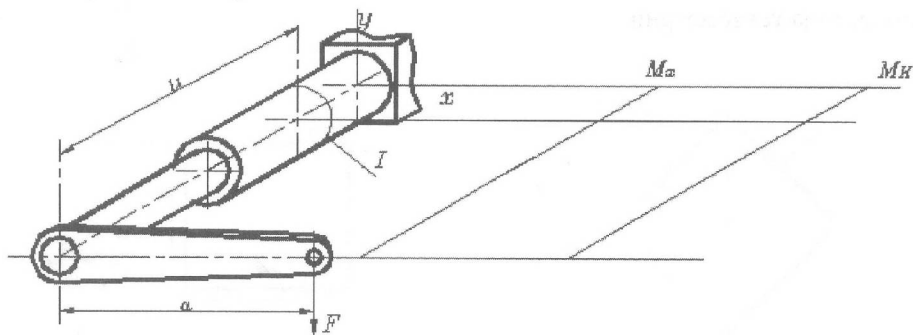
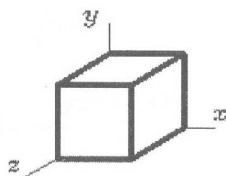
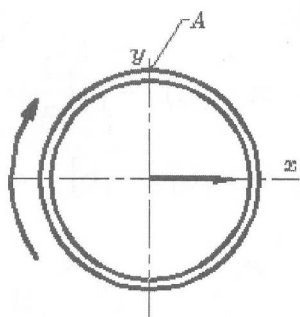


Рис. 10.2. Расчетная схема стержня и эпюры внутренних силовых факторов.

Сечение 1

Точка А



$$M_x =$$

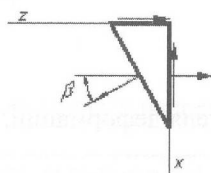
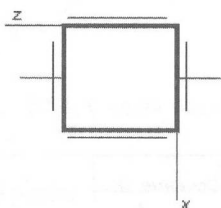
$$M_k =$$

$$\sigma_z =$$

МПа.

$$\tau_{zx} =$$

МПа.



$$\operatorname{tg} 2\beta = \frac{2\tau_{zx}}{\sigma_z} =$$

$$2\beta =$$

$$\beta =$$

$$\sigma_{1,3} = \frac{\sigma_z}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_z}{2}\right)^2 + \tau_{zx}^2} =$$

$$\sigma_1 =$$

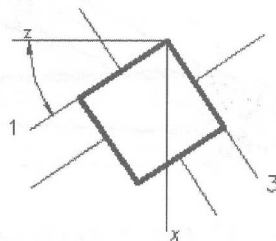
МПа.

$$\sigma_2 =$$

МПа.

$$\sigma_3 =$$

МПа.



4. Результат эксперимента.

4.1. Основы метода тензометрии.

4.2. Градуировка шкалы электронного измерителя деформации.

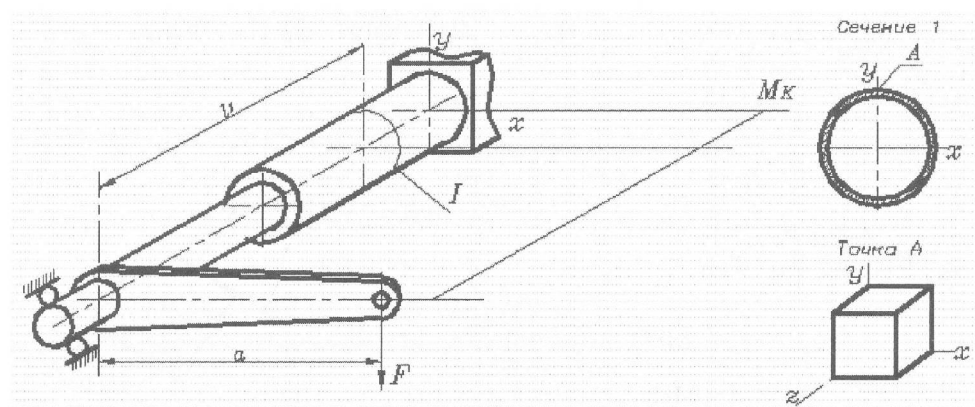
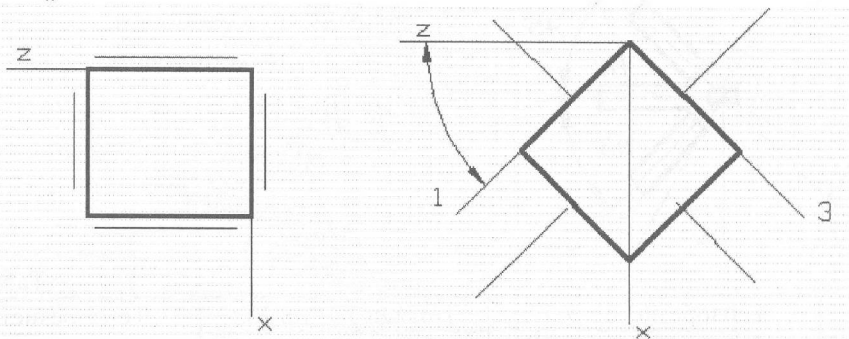


Рис.10.3. Расчетная схема стержня при градуировке

$$\tau_{zx} = \tau = \frac{M_k}{W_k} =$$



$$\sigma_1 =$$

$$\sigma_2 =$$

$$\sigma_3 =$$

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{E} [\sigma_1 - \nu(\sigma_2 + \sigma_3)] = \frac{\tau(1 + \nu)}{E} =$$

$$\varepsilon_3 = \frac{1}{E} [\sigma_3 - \nu(\sigma_1 + \sigma_2)] = -\frac{\tau(1 + \nu)}{E} =$$

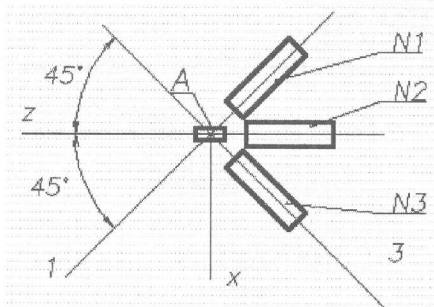


Рис. 10.4. Схема расположения тензорезисторов.

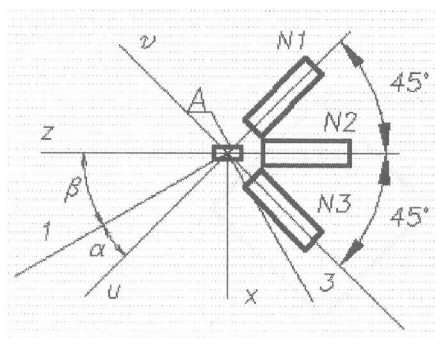
Таблица 10.1.

Нагрузка, F, Н	Тензорезистор №1		Тензорезистор №3	
	Ось 1		Ось 3	
	n_1	Δn_1	n_3	Δn_3
0				
50				
100				
150				
200				
$\Delta F =$	$\overline{\Delta n_1} =$		$\overline{\Delta n_3} =$	

Цена деления шкалы электронного измерителя деформации

$K_\varepsilon =$

4.3. Напряженно-деформированное состояние в точке стержня при изгибе и кручении.



$$\alpha + \beta = 45^\circ$$

Таблица 10.2.

Нагрузка, F, Н	Тензорезистор №1		Тензорезистор №2		Тензорезистор №3	
	Ось u		Ось z		Ось v	
	n_u	Δn_u	n_z	Δn_z	n_v	Δn_v
0						
50						
100						
150						
200						
$\Delta F =$	$\Delta n_u =$		$\Delta n_z =$		$\Delta n_v =$	

Линейная деформация

$$\varepsilon_u = K_\varepsilon \cdot \Delta n_u = \quad \varepsilon_z = K_\varepsilon \cdot \Delta n_z = \quad \varepsilon_v = K_\varepsilon \cdot \Delta n_v =$$

$$\operatorname{tg} 2\alpha = \frac{2\varepsilon_z - \varepsilon_u - \varepsilon_v}{\varepsilon_v - \varepsilon_u} = \quad 2\alpha = \quad \alpha =$$

$$\varepsilon_{1,3} = \frac{\varepsilon_u + \varepsilon_v}{2} \pm \sqrt{\frac{1}{2}[(\varepsilon_u - \varepsilon_z)^2 + (\varepsilon_v - \varepsilon_z)^2]} =$$

$$\varepsilon_1 = \quad \varepsilon_3 =$$

Главные напряжения:

$$\sigma_1 = \frac{E}{1-\nu^2} (\varepsilon_1 + \nu \varepsilon_3) =$$

$$\sigma_3 = \frac{E}{1-\nu^2} (\varepsilon_3 + \nu \varepsilon_1) =$$

5. Сопоставление результатов расчета и эксперимента.

Параметр	σ_1 , МПа	σ_3 , МПа	β°
Теория			
Эксперимент			
Погрешность			

Подпись преподавателя _____

РАБОТА №11.
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА ТЕОРЕМЫ О ВЗАИМНОСТИ РАБОТ

1. Цель работы:

2. Характеристики лабораторной установки.

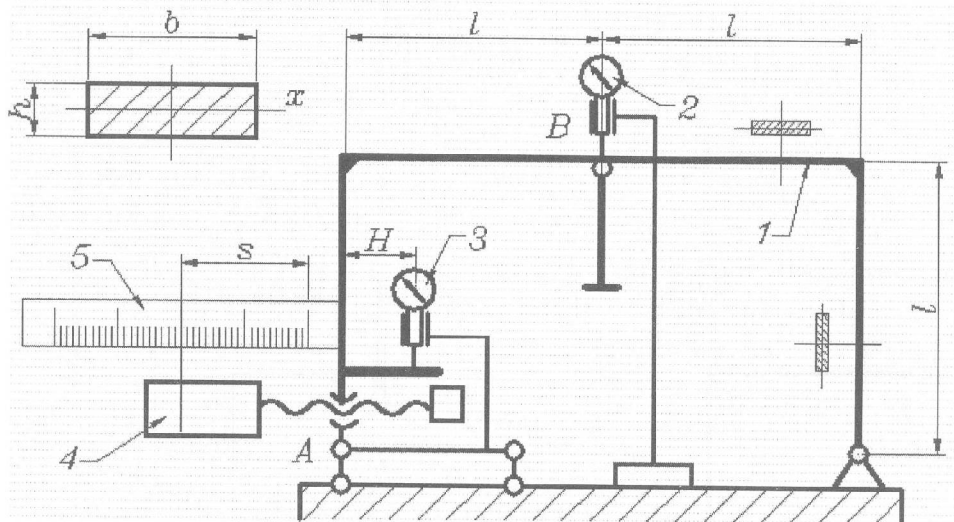


Рис. 11.1. Схема установки.

1 - рама, 2 - прогибомер, 3 - угломер, 4 – подвижной груз, 5 – шкала подвижных грузов.
Размеры рамы и геометрические характеристики ее поперечного сечения.

$l =$ мм, $h =$ мм, $b =$ мм, $H =$ мм.

Материал: Сталь Ст3.,

Модуль упругости: $E = 2 \cdot 10^5$ МПа.

Осейвой момент инерции
поперечного сечения $I_X = \frac{1}{12}bh^3 =$

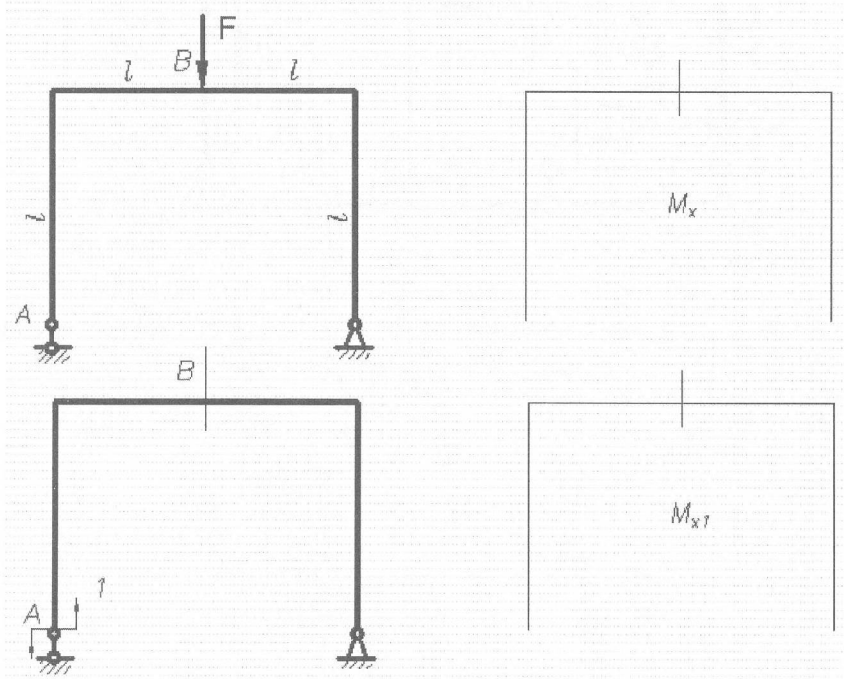
S – смещение подвижных грузов от исходного положения.

Цена деления шкалы смещения грузов $K_S =$ Нм/мм

Цена деления шкалы прогибомера и угломера $K_f =$ мм/дел.

3. Теоретический расчет.

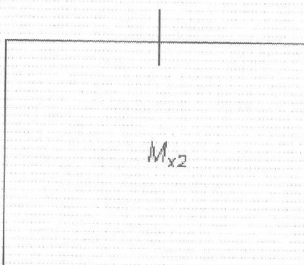
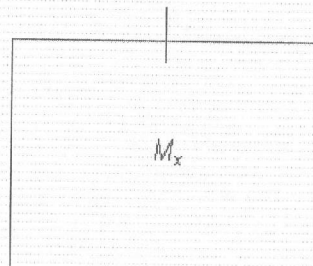
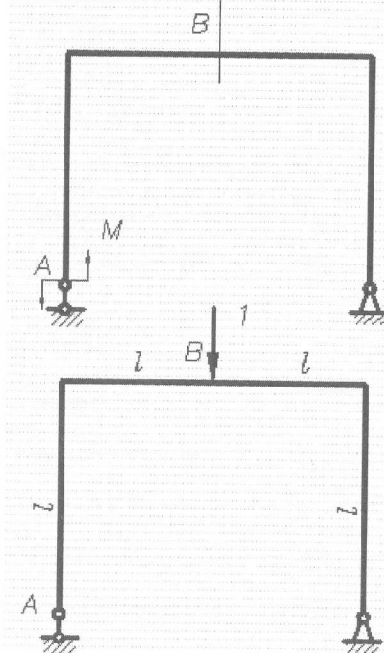
3.1. Состояние «1».



Угол поворота сечения A:

$\theta_{A1} =$

3.2. Состояние «2».



Линейное перемещение сечения В:

$$f_{B2} =$$

Работа сил состояния «1» на перемещении состояния «2»:

$$A_{21} = F \cdot f_{B2} =$$

Работа сил состояния «2» на перемещении состояния «1»:

$$A_{12} = M \cdot \theta_{A1} =$$

4. Результат эксперимента.

4.1. Состояние «1»

Таблица 11.1.

№ опыта	Сила F, Н		Угломер, сечение А	
	n_p	Δn_p	n_{A1}	Δn_{A1}
1	0			
	20	20		
2	0			
	20	20		
3	0			
	20	20		
$\Delta F = 20 \text{ Н}$			$\overline{\Delta n_{A1}} =$	

Угол поворота сечения А:

$$\overline{\Delta\theta_{A1}} = \frac{K_f \cdot \overline{\Delta n_{A1}}}{H} =$$

4.2. Состояние «2».

Таблица 11.2.

№ опыта.	Смещение грузов		Прогибомер, сечение В	
	S , мм	ΔS , мм	n_{B2}	Δn_{B2}
1	0			
	100	100		
2	0			
	100	100		
3	0			
	100	100		
	$\Delta S = 100 \text{ мм}$		$\Delta n_{B2} =$	

Внешний момент

$$\overline{\Delta M} = K_S \cdot \overline{\Delta S} =$$

Линейное перемещение сечения В

$$\overline{\Delta f_{B2}} = K_f \cdot \overline{\Delta n_{B2}} =$$

Работа силы $\overline{\Delta F}$ на перемещении $\overline{\Delta f_{B2}}$

$$A_{21} = \overline{\Delta F} \cdot \overline{\Delta f_{B2}} =$$

Работа момента $\overline{\Delta M}$ на перемещении $\overline{\Delta\theta_{A1}}$

$$A_{12} = \overline{\Delta M} \cdot \overline{\Delta\theta_{A1}} =$$

5. Сопоставление результатов расчета и эксперимента.

Таблица 11.3.

Параметр	Работа внешних сил	
	Состояние «1» A_{21} , Дж	Состояние «2» A_{12} , Дж
Теория		
Эксперимент		
Погрешность, %		

Подпись преподавателя _____

РАБОТА №12 ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ В ЗОНЕ КОНЦЕНТРАТОРА НАПРЯЖЕНИЙ

1. Цель работы

2. Характеристика лабораторной установки

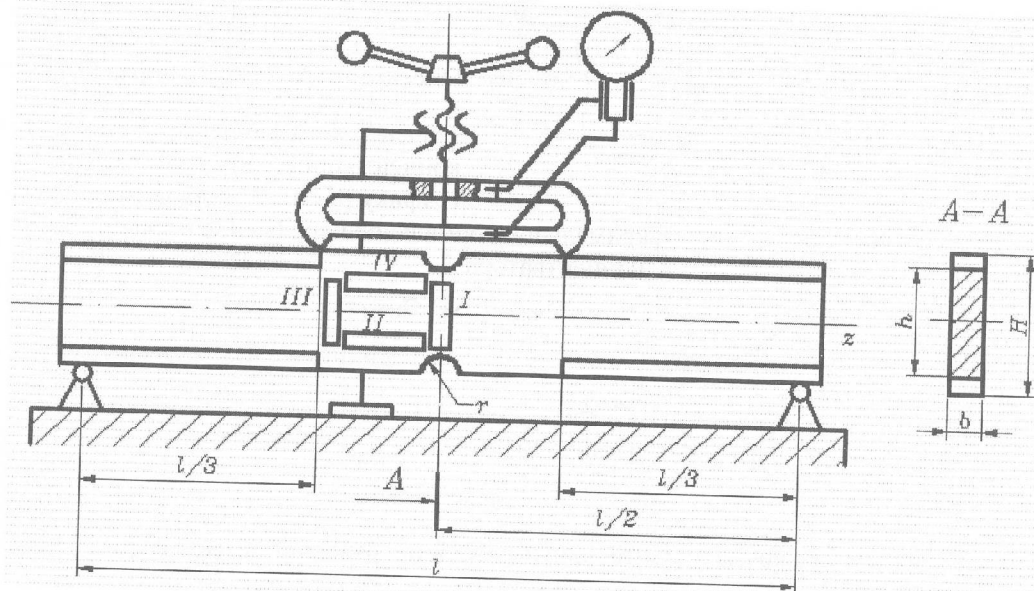


Рис.12.1. Схема установки
I, II, III, IV- группы тензорезисторов

Размеры стержня и геометрические характеристики его сечения:

$$I=900 \text{ мм}, \quad H=90 \text{ мм}, \quad h=80 \text{ мм}, \quad b=3,8 \text{ мм}, \quad r=5 \text{ мм}.$$

Осевой момент инерции сечения A стержня

$$I_{xA} = \frac{bh^3}{12} =$$

Осевой момент инерции сечений B и C стержня

$$I_x = \frac{bH^3}{12} =$$

Материал стержня: сталь Ст.3, модуль упругости $E=2 \cdot 10^5$ МПа.

3. Теоретический расчет

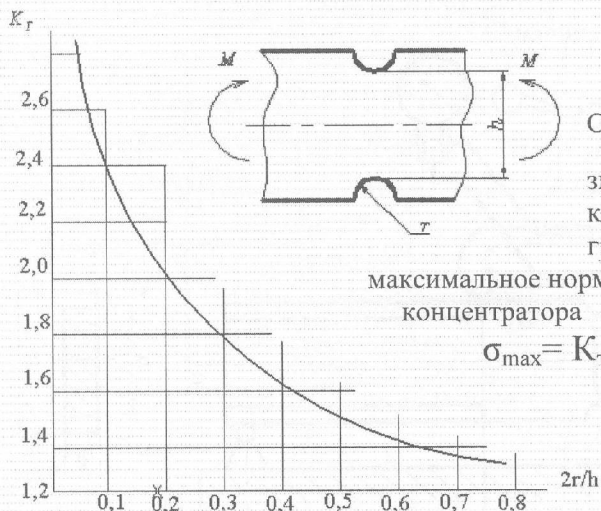
3.1. Понятие о концентрации напряжений

Теоретическим коэффициентом концентрации называется отношение максимального напряжения, возникающего в зоне концентратора, к номинальному напряжению.

Под номинальным напряжением понимается напряжение, подсчитанное по формулам сопротивления материалов без учета концентрации напряжений.

Номинальное напряжение определяем с учетом концентратора напряжений, т.е. момент инерции I_{XA} вычисляем для ослабленного сечения

$$K_T = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{\text{ном}}}$$



Определив $\sigma_{\text{ном}} = \frac{M_X}{W_{XA}}$ и расчетное

значение коэффициента концентрации напряжений K_T (по графику рис.12.2.), находим

максимальное нормальное напряжение в зоне концентратора

$$\sigma_{\max} = K_T \cdot \sigma_{\text{ном}} =$$

Рис.12.2. Зависимость коэффициента концентрации напряжений от параметра $2r/h$ (Петерсон Р. Коэффициенты концентрации напряжений М., МИР, 1977).

4. Результаты эксперимента

4.1. Градуировка шкалы измерителя деформации

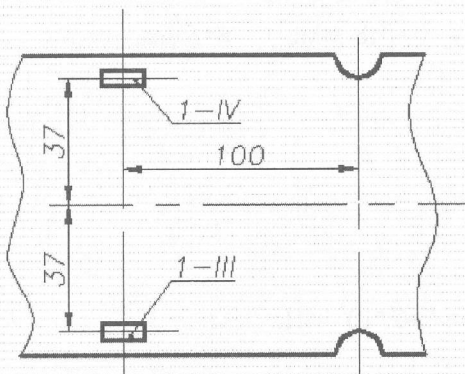


Рис.12.3. Схема расположения тензорезисторов I-III и I-IV, используемых для градуировки электронного измерителя деформаций.

Таблица 12.1.

Нагрузка F, H	Тензорезистор 1-III		Тензорезистор 1-IV	
	n_{1-III}	Δn_{1-III}	n_{1-IV}	Δn_{1-IV}
500				
1500				
2500				
$\Delta F = 1000 H$	$\Delta \bar{n}_{1-III} =$		$\Delta \bar{n}_{1-IV} =$	

Среднее значение показаний
тензорезисторов I-III и I-IV

$$\Delta \bar{n} = \frac{|\Delta n_{1-III}| + |\Delta n_{1-IV}|}{2}$$

Изгибающий момент в сечении C

$$\Delta M_x =$$

Ордината точки 1-III

$$y_{1-III} =$$

Нормальное напряжение в
точке I-III

$$\Delta \sigma = \frac{\Delta M_x}{I_x} y_{1-III} =$$

Расчетное значение деформации в
точке I-III

$$\Delta \varepsilon = \frac{\Delta \sigma}{E} =$$

Экспериментальное значение
деформации в точке I-III

$$\Delta \varepsilon = K_\varepsilon \cdot \Delta \bar{n}$$

Цена деления шкалы электронного
измерителя деформации

$$K_\varepsilon = \frac{\Delta \varepsilon}{\Delta \bar{n}} =$$

4.2. Определение экспериментальных значений напряжений и коэффициента
концентрации

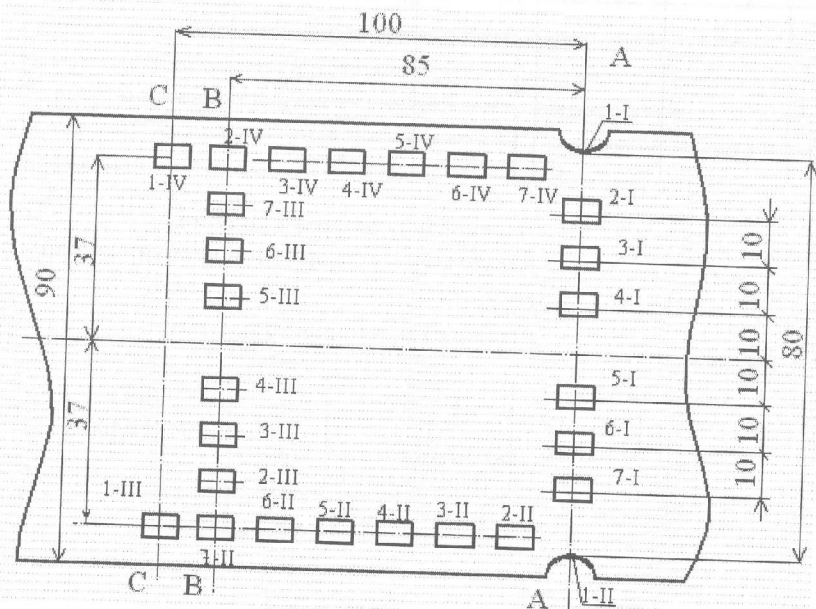
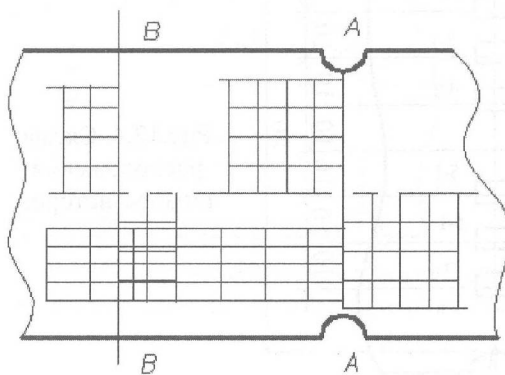


Рис.12.4. Схема
расположения
тензорезисторов

Таблица 12.2.

Таблица 12.3.

Нагрузка F, Н		500	1500	2500
Тензорезисторы	Группа I	1		
		2		
		3		
		4		
		5		
		6		
		7		
	Группа II	1		
		2		
		3		
		4		
		5		
		6		
		7		
	Группа III	1		
		2		
		3		
		4		
		5		
		6		
		7		
	Группа IV	1		
		2		
		3		
		4		
		5		
		6		
		7		

[illegible]

Экспериментальное значение
максимального нормального напряжения

 $\sigma_{\max} =$

5. Сопоставление результатов.

Параметр	$\sigma_{\max}$
Теория	
Эксперимент	
Погрешность	

Подпись
преподавателя

РАБОТА № 13. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ ДЛЯ ГИБКОГО СЖАТОГО СТЕРЖНЯ

1. Цель работы:

2. Характеристики лабораторной установки.

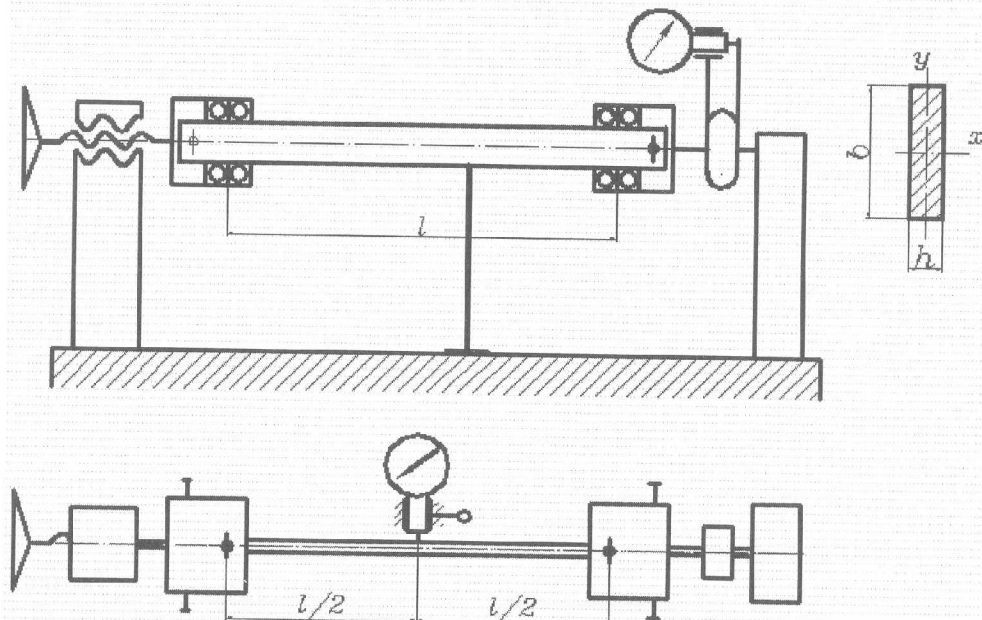


Рис. 13.1. Схема установки

Размеры стержня и геометрические характеристики его сечения:

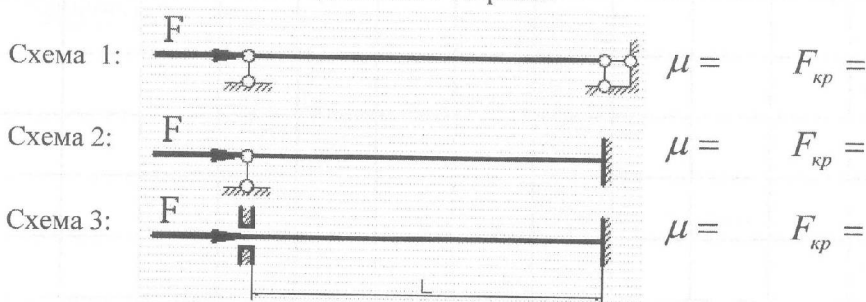
$l =$ мм, $h =$ мм, $b =$ мм.

Минимальный осевой момент инерции сечения

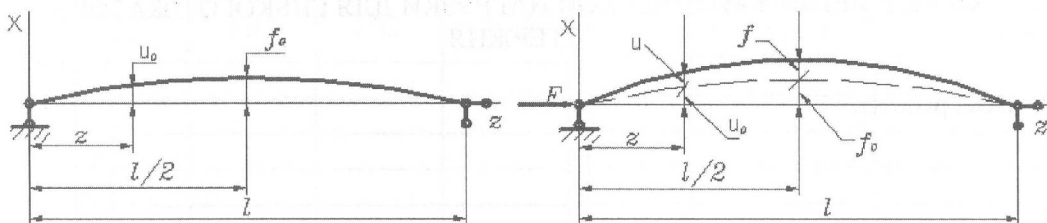
$$I_y = I_{\min} = \frac{bh^3}{12} =$$

3. Теоретический расчет.

3.1. Расчетная схема идеального стержня.



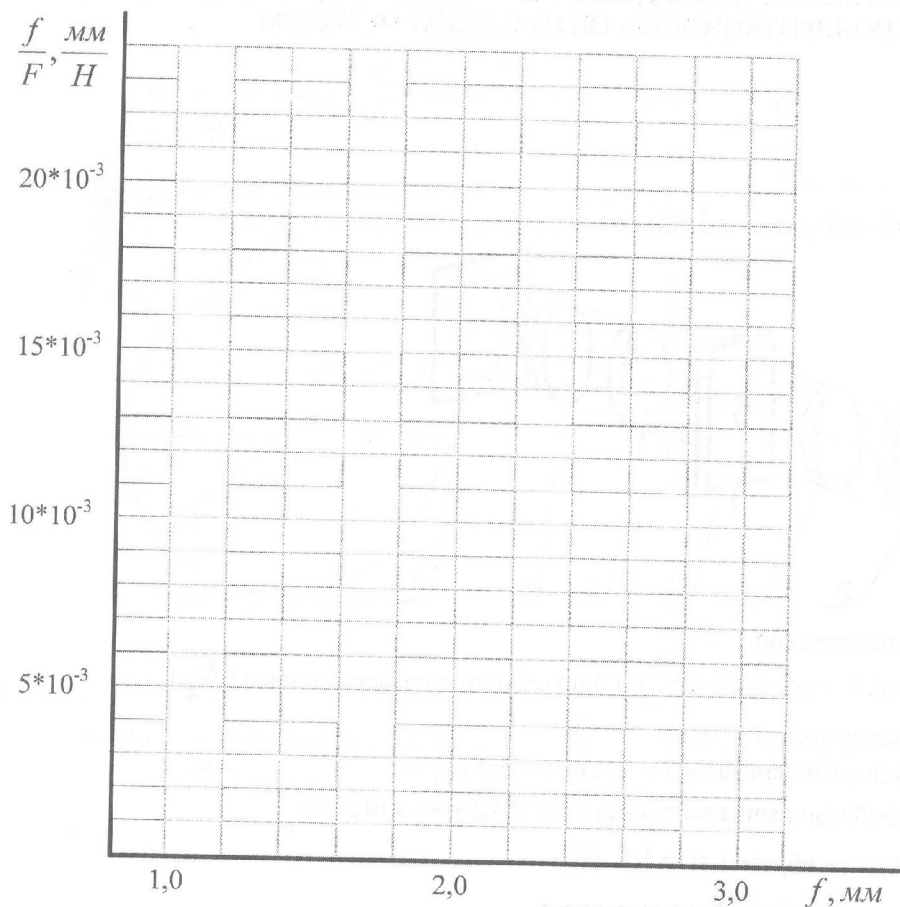
3.2. Расчетная схема неидеального стержня.



4. Результаты эксперимента.

Таблица 13.1.

$f, \text{мм}$		1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6	2,8	3,0
Схема №1	$f_F, \text{мм}$											
	$F, \text{Н}$											
	$f / F, \text{мм/Н}$											
Схема №2	$f_F, \text{мм}$											
	$F, \text{Н}$											
	$f / F, \text{мм/Н}$											
Схема №3	$f_F, \text{мм}$											
	$F, \text{Н}$											
	$f / F, \text{мм/Н}$											



5. Сопоставление результатов расчета и эксперимента.

Таблица 13.2.

Параметр	Критическая сила $F_{кр}$, Н		
	Схема 1	Схема 2	Схема 3
Теория			
Эксперимент			
Погрешность, %			

Подпись преподавателя _____

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ ПОЛЯРИЗАЦИОННО-ОПТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

1. Цель работы:

2. Характеристика лабораторной установки

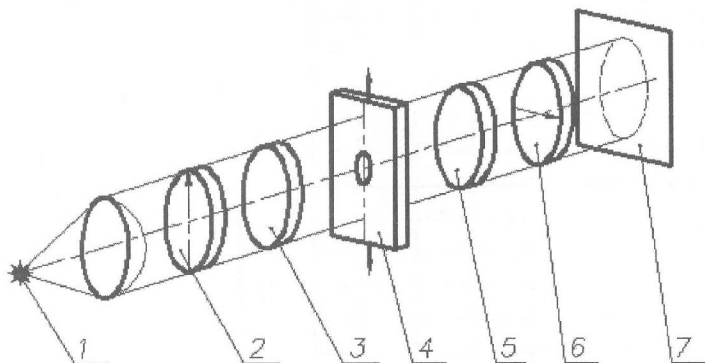


Рис. 14.1. Схема полярископа:

1 – источник света, 2 – поляризатор, 3 и 5 пластинки в четверть волны ($\lambda/4$),
4 – модель, 6 – анализатор, 7 – экран.

Диаметр поляроидов (поляризатора и анализатора) $d_{\Pi} =$ мм;

Нагрузочное устройство рычажного типа (Рис. 14.2.) $c/a = 10$;

Сила, передаваемая на образец $F = 10 \cdot F_0$;

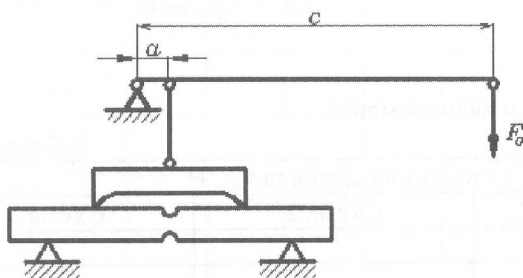


Рис. 14.2.

Размер образца (Рис.14.3.):

$L =$ мм; $l =$ мм;

$H =$ мм; $h =$ мм;

$r =$ мм; $t =$ мм.

Материал модели –

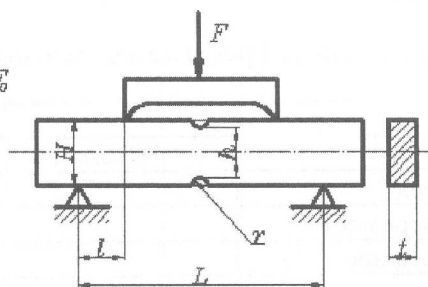


Рис. 14.3.

Размеры градуировочной балки (Рис. 14.3., без концентратора напряжений):

$L =$ мм; $I =$ мм;

$H =$ мм;
 $t =$ мм.
 Размеры градуировочного
 диска (Рис. 14.4.):
 $d =$ мм;
 $t =$ мм.

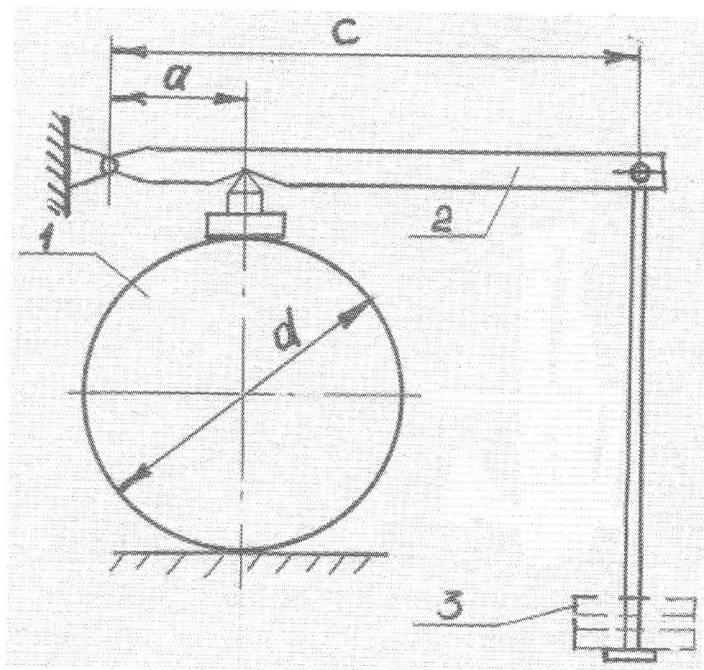


Рис. 14.4. Схема нагружения диска: 1 – диск, 2 – рычаг, 3 – груз.

Фотография картины полос в модели (Рис. 14.5.):

Рис. 14.5.

3. Краткие теоретические сведения.

4. Результаты эксперимента

4.1. Определение оптической постоянной материала модели

Таблица 14.1.

Порядок полосы	n				
Балка	F_1				
Диск	F_2				

$F, Н$			
			n

$\Delta n =$

$\Delta F_1 =$ Н, $\Delta F_1 =$ Н;

$\sigma_{01} = \frac{3 \cdot \Delta F_1 \cdot l}{H^2 \cdot \Delta n} =$ Н/мм;

$\sigma_{02} = \frac{8 \cdot \Delta F_2}{\pi D \cdot \Delta n} =$ Н/мм;

Рис. 14.6.

4.2. Определение коэффициента концентрации напряжений

$\sigma_0 =$ Н/мм; $F =$ Н; $n_{\max} =$;

$\sigma_{\max} = \frac{\sigma_0 \cdot n_{\max}}{t} =$ МПа;

$\sigma_{II} = \frac{3 \cdot F \cdot l}{h^2 \cdot t} =$ МПа;

$K = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{II}} =$

