

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
**ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
Кафедра «Прикладная механика, динамика и прочность машин»

**СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ**  
**ЖУРНАЛ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

20    /20    учебный год

Студент \_\_\_\_\_

Факультет \_\_\_\_\_

Группа \_\_\_\_\_

Челябинск  
Издательский центр ЮУрГУ  
2014

УДК 539.3/.6(076.5)

К615

Одобрено  
учебно-методической комиссией  
физического факультета

К615      Сопротивление материалов: журнал лабораторных работ / сост.:  
В.П. Колпаков, А.В. Понькин, Е.Е. Рихтер. – Челябинск: Издатель-  
ский центр ЮУрГУ, 2014. – 56 с.

Журнал предназначен для выполнения и оформления лабораторных работ студентами укрупненных групп направлений подготовки 140000, 150000, 160000, 190000, 270000, 280000, а также 07.00.00, 08.00.00, 13.00.00, 15.00.00, 20.00.00, 23.00.00, 24.00.00

УДК 539.3/.6(076.5)

## **ПОРЯДОК РАБОТЫ В ЛАБОРАТОРИИ СОПРОТИВЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ**

1. Занятия в лаборатории проводятся одновременно со всей группой. Группа делится на бригады по 4-5 студентов. Каждая бригада выполняет соответствующую лабораторную работу под руководством преподавателя или учебного мастера. Староста группы на каждое занятие назначает двух дежурных, которые следят за порядком в лаборатории и производят уборку в конце занятия.

2. К занятиям допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности, оформившие отчет по предыдущему занятию и ознакомившиеся с содержанием предстоящих работ (по рекомендованной литературе).

3. В начале занятия преподаватель проверяет готовность группы к выполнению очередных работ и затем указывает рабочее место каждой бригаде. Студенты, получившие при проверке готовности к лабораторным работам неудовлетворительную оценку, к занятиям не допускаются.

**ЗАПРЕЩАЕТСЯ** приводить в действие испытательные машины, устанавливать приборы или приспособления без разрешения преподавателя. К выполнению следующей работы можно переходить только с разрешения преподавателя.

4. Во время выполнения работы каждый студент обязан вести записи всех измерений и показаний приборов в своем журнале (карандашом). В журнал заносятся также результаты расчетов, которые вместе с результатами опытов предъявляются по окончании лабораторной работы. Окончательное оформление работы (ручкой) проводится дома.

5. В лаборатории студенты обязаны соблюдать трудовую дисциплину, бережно относиться к имуществу университета – машинам, приборам и другому оборудованию. Студент, нарушивший правила техники безопасности или дисциплину в лаборатории, удаляется с занятия и к очередному занятию может быть допущен только с разрешения заведующего лабораторией.

6. После выполнения всех намеченных работ (в соответствии с планом для студентов данной специальности) проводится зачет по лабораторным работам. Студентам, обнаружившим при выполнении лабораторных работ хорошую подготовленность и сознательное отношение к делу, отметка о зачете может быть проставлена преподавателем автоматически после выполнения и оформления в журнале всех работ.

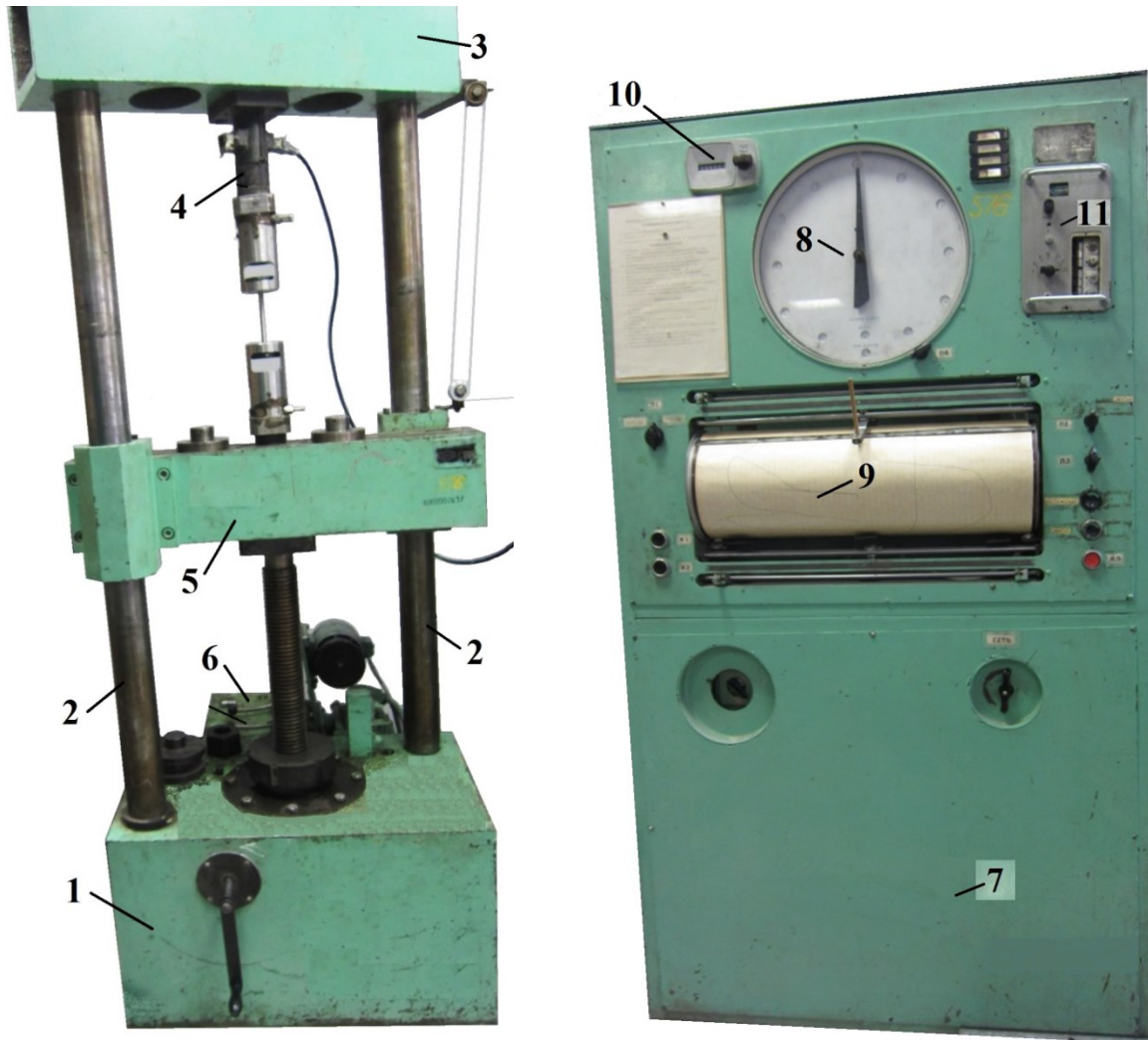
# Работа 1

## ИСПЫТАНИЕ НА РАСТЯЖЕНИЕ

Цель работы:

Марка машины:

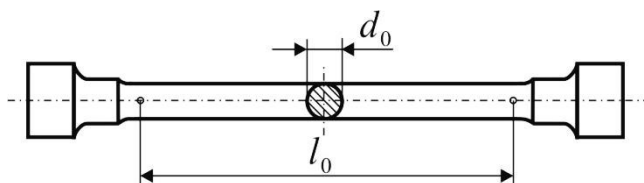
Испытательная машина с электромеханическим нагружением



1 – основание; 2 – колонны; 3 – неподвижная траверса; 4 – универсальный динамометр с верхним захватом; 5 – подвижная траверса; 6 – коробка передач с электродвигателем; 7 – пульт управления; 8 – шкала нагрузок; 9 – диаграммный аппарат; 10 – счётчик циклов; 11 – блок усилителя

|                     |           |       |
|---------------------|-----------|-------|
| Масштабы диаграммы: | усилий    | $m =$ |
|                     | удлинений | $n =$ |

### Образец для испытаний на растяжение



| Исходные данные образца     |                         | № 1 | № 2 |
|-----------------------------|-------------------------|-----|-----|
| Материал образца            |                         |     |     |
| Начальные размеры:          |                         |     |     |
| диаметр                     | $d_0$ , мм              |     |     |
| расчетная длина             | $l_0$ , мм              |     |     |
| площадь поперечного сечения | $S_0$ , мм <sup>2</sup> |     |     |

### Эскизы образцов до и после испытаний

## Результаты испытаний

| Определяемая величина   | Обозначение            |                 | Образец |     |
|---|------------------------|-----------------|---------|-----|
|   |                        |                 | № 1     | № 2 |
| Нагрузка, соответствующая пределу пропорциональности                                  | $F_{пц}$               | кгс             |         |     |
|   |                        | кН              |         |     |
| Нагрузка, соответствующая физическому пределу текучести (условному пределу текучести) | $F_T$<br>( $F_{0,2}$ ) | кгс             |         |     |
|   |                        | кН              |         |     |
| Наибольшая нагрузка при испытании   | $F_{max}$              | кгс             |         |     |
|   |                        | кН              |         |     |
| Нагрузка в момент разрыва   | $F_k$                  | кгс             |         |     |
|   |                        | кН              |         |     |
| Длина расчетной части образца после разрыва   | $l_k$                  | мм              |         |     |
| Диаметр шейки образца после разрыва   | $d_k$                  | мм              |         |     |
| Площадь поперечного сечения шейки   | $S_k$                  | мм <sup>2</sup> |         |     |

## Механические характеристики

|               |                                       | Обозначение и расчетная формула              | Образец |     |
|---------------|---------------------------------------|--|---------|-----|
|               |                                       |  | № 1     | № 2 |
| прочности:    | Предел пропорциональности             | $\sigma_{пц} = \frac{F_{пц}}{S_0}$ , МПа     |         |     |
|               | Предел текучести физический           | $\sigma_T = \frac{F_T}{S_0}$ , МПа           |         |     |
|               | Предел текучести условный             | $\sigma_{0,2} = \frac{F_{0,2}}{S_0}$ , МПа   |         |     |
|               | Временное сопротивление               | $\sigma_B = \frac{F_{max}}{S_0}$ , МПа       |         |     |
|               | Истинное напряжение в момент разрыва  | $\sigma_f = \frac{F_k}{S_k}$ , МПа           |         |     |
| пластичности: | Относительное удлинение после разрыва | $\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} \cdot 100\%$ |         |     |
|               | Относительное сужение после разрыва   | $\psi = \frac{S_0 - S_k}{S_0} \cdot 100\%$   |         |     |

# Диаграммы условных напряжений

## Образец № 1

|                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| $\sigma,$<br>МПа |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

$\varepsilon$

## Образец № 2

|                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| $\sigma,$<br>МПа |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|                  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

$\varepsilon$

Работа выполнена « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

**Работа 2**  
**ИСПЫТАНИЕ НА СЖАТИЕ**

Цель работы:

Масштаб нагрузки  $m =$  \_\_\_\_\_ .

| Исходные данные образцов    |                         | № 1 | № 2 |
|-----------------------------|-------------------------|-----|-----|
| Материал образцов           |                         |     |     |
| Начальные размеры:          |                         |     |     |
| диаметр                     | $d_0$ , мм              |     |     |
| площадь поперечного сечения | $S_0$ , мм <sup>2</sup> |     |     |

Образцы №№ 3, 4 (испытываются при необходимости по заданию преподавателя): материал образцов \_\_\_\_\_ ,

размеры образцов \_\_\_\_\_ ,

площадь поперечного сечения \_\_\_\_\_ .

Эскизы образцов до и после испытаний

сталь

чугун

дерево



## Результаты испытаний

Образец № 1 (сталь)

|             |  |  |  |  |  |
|-------------|--|--|--|--|--|
| $F,$<br>кгс |  |  |  |  |  |
|             |  |  |  |  |  |
|             |  |  |  |  |  |
|             |  |  |  |  |  |
|             |  |  |  |  |  |

$\Delta l, \text{ мм}$

Образец № 2 (чугун)

|             |  |  |  |
|-------------|--|--|--|
| $F,$<br>кгс |  |  |  |
|             |  |  |  |
|             |  |  |  |
|             |  |  |  |
|             |  |  |  |

$\Delta l, \text{ мм}$

|   |   |
|---|---|
| <b>Образец № 1 (сталь)</b>                            |   |
| Нагрузка, соответствующая пределу пропорциональности  | $F_{\text{пц}} = \quad \text{кгс} = \quad \text{кН}$                    |
| Предел пропорциональности                             | $\sigma_{\text{пц}} = F_{\text{пц}}/S_0 = \quad \text{МПа}$             |
| <b>Образец № 2 (чугун)</b>                            |   |
| Нагрузка, соответствующая пределу прочности           | $F_{\text{max}} = \quad \text{кгс} = \quad \text{кН}$                   |
| Предел прочности                                      | $\sigma_{\text{в}}^{\text{сж}} = F_{\text{max}}/S_0 = \quad \text{МПа}$ |
| <b>Образец № 3 (дерево вдоль волокон)</b>             |   |
| Нагрузка, соответствующая пределу прочности           | $F_{\text{max}} = \quad \text{кгс} = \quad \text{кН}$                   |
| Предел прочности                                      | $\sigma_{\text{w}} = F_{\text{max}}/S_0 = \quad \text{МПа}$             |
| <b>Образец № 4 (дерево поперёк волокон)</b>           |   |
| Нагрузка, соответствующая условному пределу прочности | $F_{\text{w}} = \quad \text{кгс} = \quad \text{кН}$                     |
| Условный предел прочности                             | $\sigma_{\text{w}} = F_{\text{w}}/S_0 = \quad \text{МПа}$               |

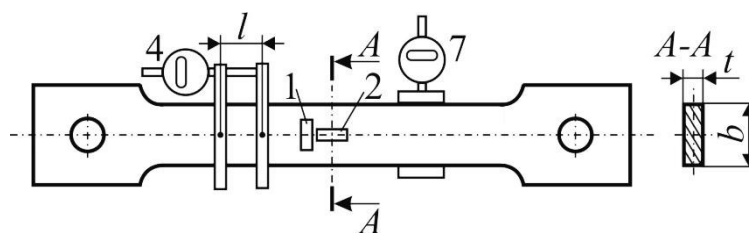
Работа выполнена «      »      20     г.

### Работа 3

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ УПРУГИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛА ПРИ РАСТЯЖЕНИИ

Цель работы:

Эскиз образца



1 и 2 – тензорезисторы, 4 и 7 – микрометры

|  |                       |
|--|-----------------------|
| Материал образца                                     |                       |
| Размеры поперечного сечения                          | $b =$ мм              |
|  | $t =$ мм              |
| Площадь поперечного сечения                          | $S =$ мм <sup>2</sup> |
| База измерения продольного микрометра                | $l =$ мм              |
| Цена деления тензорезисторного измерителя деформации | $k_\varepsilon =$     |

Таблица результатов измерений

| № измерения | Нагрузка, кН | Продольная деформация |                  |             |                  | Поперечная деформация |                  |             |                  |
|-------------|--------------|-----------------------|------------------|-------------|------------------|-----------------------|------------------|-------------|------------------|
|             |              | тензорезистор 2       |                  | микрометр 4 |                  | тензорезистор 1       |                  | микрометр 7 |                  |
|             |              | $A^{(2)}$             | $\Delta A^{(2)}$ | $A^{(4)}$   | $\Delta A^{(4)}$ | $B^{(1)}$             | $\Delta B^{(1)}$ | $B^{(7)}$   | $\Delta B^{(7)}$ |
| 1           | $F = F_0 =$  |                       |                  |             |                  |                       |                  |             |                  |
| 2           | $F =$        |                       |                  |             |                  |                       |                  |             |                  |
| 3           | $F =$        |                       |                  |             |                  |                       |                  |             |                  |
| 4           | $F =$        |                       |                  |             |                  |                       |                  |             |                  |
| 5           | $F =$        |                       |                  |             |                  |                       |                  |             |                  |
| 6           | $F =$        |                       |                  |             |                  |                       |                  |             |                  |

## Расчет напряжений и деформаций

### Расчётные формулы

|                       |                                |   |
|-----------------------|--------------------------------|---|
| Расчетное напряжение  |                                | $\sigma = \frac{F - F_0}{S_0}$                                |
| Продольная деформация | по показаниям тензорезистора 2 | $\varepsilon_z^T = (A^{(2)} - A_0^{(2)}) \cdot k_\varepsilon$ |
|                       | по показаниям микрометра 4     | $\varepsilon_z^M = (A^{(4)} - A_0^{(4)})/l$                   |
| Поперечная деформация | по показаниям тензорезистора 1 | $\varepsilon_x^T = (B^{(1)} - B_0^{(1)}) \cdot k_\varepsilon$ |
|                       | по показаниям микрометра 7     | $\varepsilon_x^M = (B^{(7)} - B_0^{(7)})/b$                   |

### Результаты расчёта

| № измерения | σ, МПа | Продольная деформация |                   | Поперечная деформация |                   |
|-------------|--------|-----------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|
|             |        | $\varepsilon_z^T$     | $\varepsilon_z^M$ | $\varepsilon_x^T$     | $\varepsilon_x^M$ |
| 1           |        |                       |                   |                       |                   |
| 2           |        |                       |                   |                       |                   |
| 3           |        |                       |                   |                       |                   |
| 4           |        |                       |                   |                       |                   |
| 5           |        |                       |                   |                       |                   |
| 6           |        |                       |                   |                       |                   |

Количество ступеней нагружения  $n =$  .

Средние значения показаний измерительных приборов:

$$\Delta A_{cp}^{(2)} = \sum \Delta A^{(2)} / n = \quad ; \quad \Delta A_{cp}^{(4)} = \sum \Delta A^{(4)} / n = \quad ;$$

$$\Delta B_{cp}^{(1)} = \sum \Delta B^{(1)} / n = \quad ; \quad \Delta B_{cp}^{(7)} = \sum \Delta B^{(7)} / n = \quad .$$

Средняя продольная деформация на ступень нагружения:

– по показаниям тензорезистора 2  $\Delta \varepsilon_z^T = \Delta A_{cp}^{(2)} \cdot k_\varepsilon =$  ,

– по показаниям микрометра 4  $\Delta \varepsilon_z^M = \Delta A_{cp}^{(4)} / l =$  .

Средняя поперечная деформация на ступень нагружения:

– по показаниям тензорезистора 1  $\Delta\varepsilon_x^T = \Delta B_{cp}^{(1)} \cdot k_\varepsilon =$  \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ ,

– по показаниям микрометра 7  $\Delta\varepsilon_x^M = \Delta B_{cp}^{(7)} / b =$  \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ .

Средняя величина приращения нагрузки на ступень нагружения:

$$\Delta F = \frac{F_{max} - F_0}{n} = \frac{\quad}{\quad} = \quad \text{кН.}$$

Модуль упругости при растяжении:

– по показаниям тензорезистора 2

$$E^T = \frac{\Delta F}{S_0 \cdot \Delta\varepsilon_z^T} = \frac{\quad}{\quad} = \quad \text{МПа,}$$

– по показаниям микрометра 4

$$E^M = \frac{\Delta F}{S_0 \cdot \Delta\varepsilon_z^M} = \frac{\quad}{\quad} = \quad \text{МПа,}$$

Коэффициент поперечной деформации (Пуассона):

– по показаниям тензорезисторов 1 и 2

$$\mu^T = |\Delta\varepsilon_x^T / \Delta\varepsilon_z^T| = | \quad / \quad | = \quad ,$$

– по показаниям микрометров 7 и 4

$$\mu^M = |\Delta\varepsilon_x^M / \Delta\varepsilon_z^M| = | \quad / \quad | = \quad .$$

График зависимости между напряжением и продольной деформацией

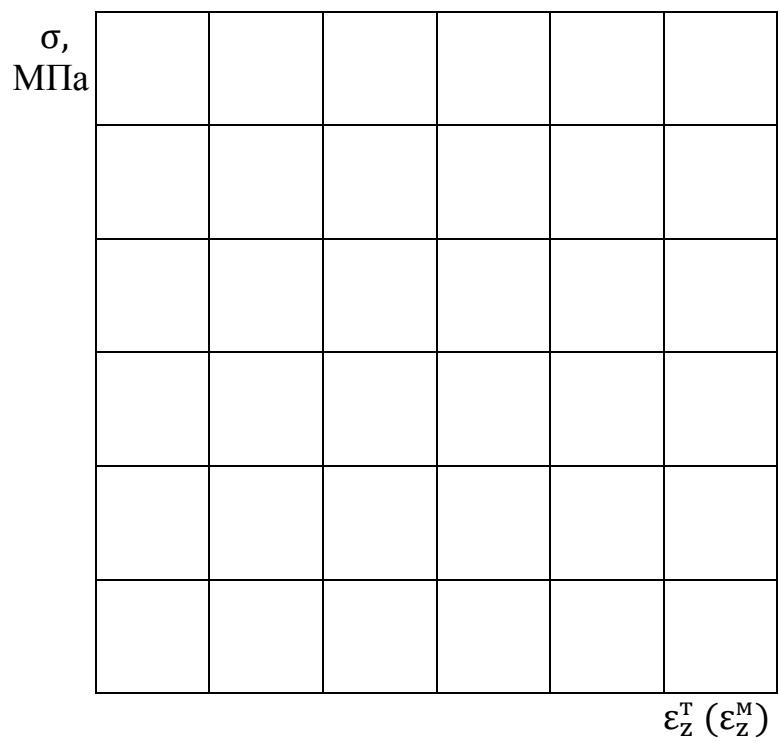
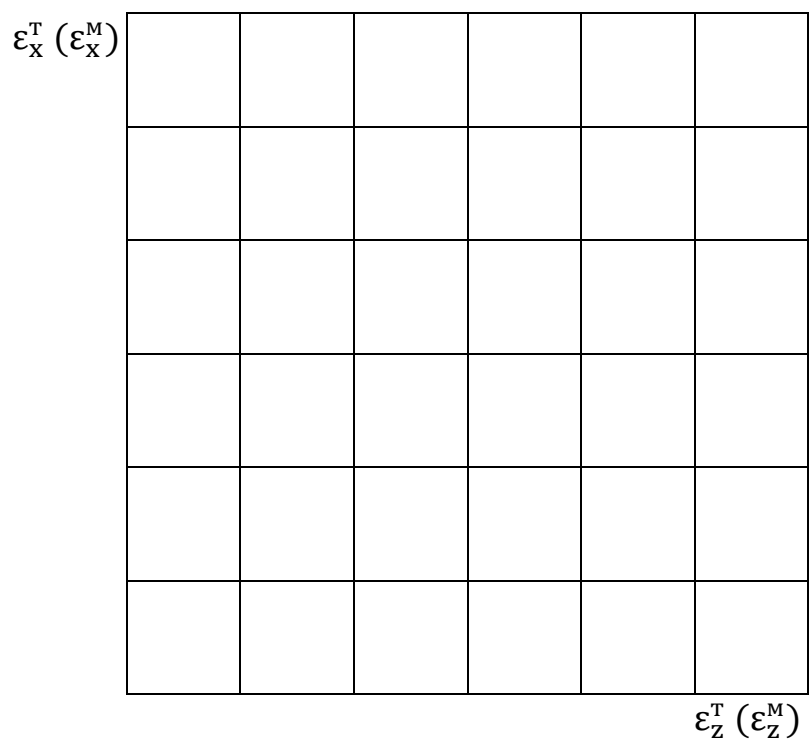


График зависимости между продольной и поперечной деформациями

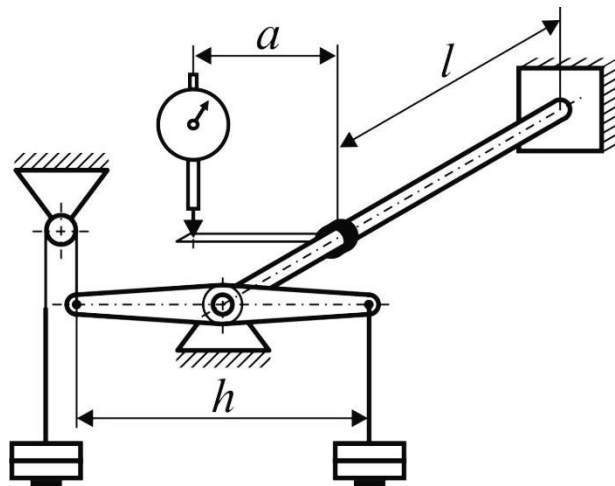


Работа выполнена « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

## Работа 4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ СДВИГА

Цель работы:

Схема установки



Исходные данные

|  |                   |   |
|--|-------------------|---|
| Материал образца                                   |                   |   |
| Диаметр сечения                                    |                   | $d =$ мм  |
| Полярный момент инерции сечения                    |                   | $I_p = \pi d^4 / 32 =$ мм <sup>4</sup> = М <sup>4</sup> |
| Расчётная длина                                    |                   | $l =$ мм  |
| Расстояние от оси образца до оси штифта индикатора |                   | $a =$ мм  |
| Плечо пары сил (грузов)                            |                   | $h =$ мм  |
| Предварительная нагрузка                           | $F_0 =$ кгс,      | $T_0 = F_0 \cdot h =$ кгс · мм = Н · м                  |
| Степень нагрузки                                   | $\Delta F =$ кгс, | $\Delta T = \Delta F \cdot h =$ кгс · мм = Н · м        |

Таблица результатов измерений

| Момент пары сил,<br>кгс·мм | Показания индикатора, мм |            | Угол поворота:<br>$\Delta\varphi = \frac{\Delta A}{a}$ , рад |
|----------------------------|--------------------------|------------|--|
|                            | A                        | $\Delta A$ |  |
| $T_0 =$                    |                          |            |  |
| $T_0 + \Delta T =$         |                          |            |  |
| $T_0 + 2\Delta T =$        |                          |            |  |
| $T_0 + 3\Delta T =$        |                          |            |  |
| $T_0 + 4\Delta T =$        |                          |            |  |

Число ступеней нагружения  $n =$  .

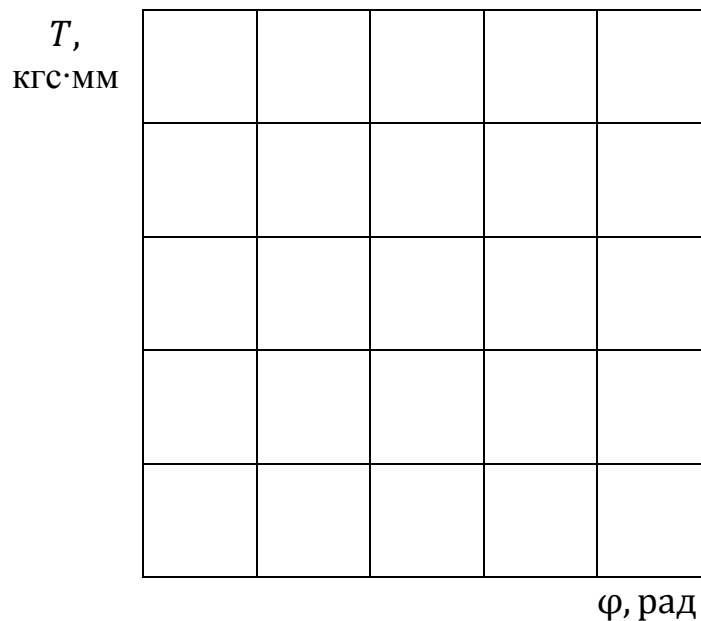
Среднее приращение угла закручивания на ступень нагрузки:

$$\Delta\varphi_{\text{ср}} = \frac{1}{n} \sum \Delta\varphi = \quad \text{рад.}$$

Модуль сдвига:

$$G = \frac{\Delta T \cdot l}{\Delta\varphi_{\text{ср}} \cdot I_p} = \frac{\quad}{\quad} = \quad \text{кгс/мм}^2 \quad ( \quad \text{МПа}).$$

Диаграмма кручения



Работа выполнена «      »                                  20    г.

**Работа 5**  
**ИСПЫТАНИЕ НА СКРУЧИВАНИЕ ДО РАЗРУШЕНИЯ**

Цель работы:

| Образец   | 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|
| Материал образца  |   |   |   |
| Длина рабочей части образца $l$ , мм  |   |   |   |
| Угол поворота подвижного захвата относительно неподвижного к моменту разрушения образца (приблизительно) $\varphi$ , град |   |   |   |
| Относительный угол закручивания образца на момент разрушения $\Theta = \varphi/l$ , град/мм                               |   |   |   |
| Характер (вид) разрушения   |   |   |   |

Эскизы образцов до и после испытания

Работа выполнена « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

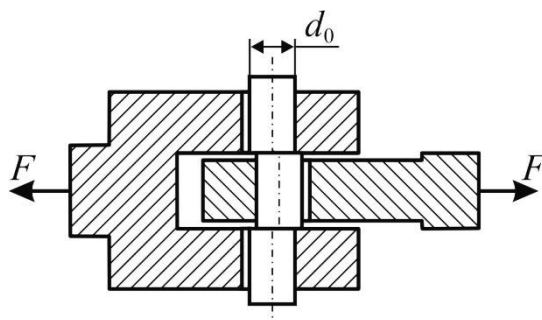


## Работа 6 ИСПЫТАНИЕ НА СРЕЗ

Цель работы:

Марка машины:

Схема приспособления для испытаний



Материал образца

Диаметр образца  $d_0 =$             мм.

Площадь поперечного сечения образца  $S_0 =$             мм<sup>2</sup>.

Разрушающая нагрузка  $F_{\max} =$             кгс.

Временное сопротивление срезу:

$$\tau_{\text{ср}} = \frac{F_{\max}}{2S_0} = \text{_____} = \frac{\text{кгс}}{\text{мм}^2} = \text{_____ МПа.}$$

Работа выполнена « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

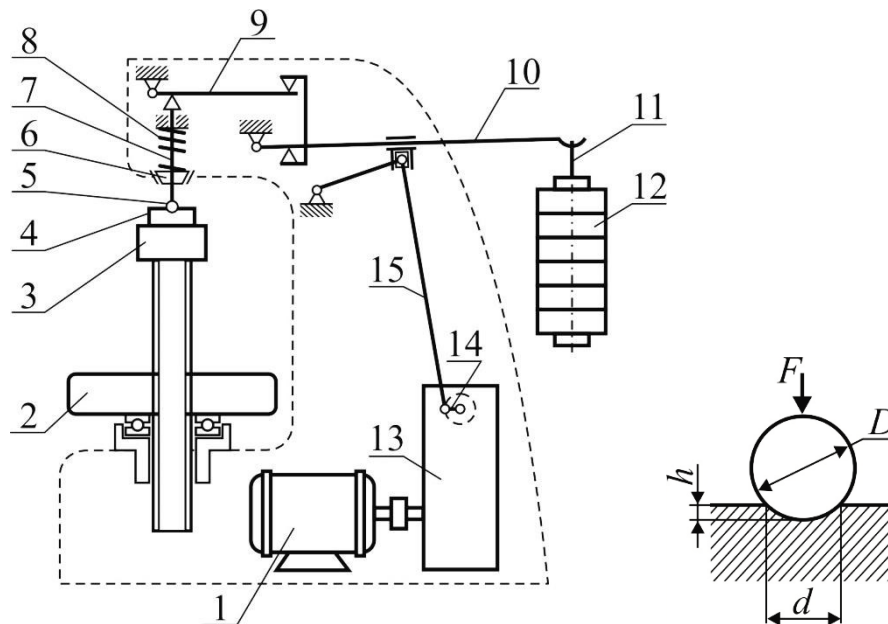
## Работа 7 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЁРДОСТИ

Цель работы:

### 1. Определение твёрдости по Бринеллю

Марка твердомера:

Схема твердомера



- 1 – электродвигатель, 2 – маховик, 3 – стол, 4 – деталь,  
5 – шарик, 6 – втулка, 7 – шпиндель, 8 – пружина,  
9 и 10 – рычаги, 11 – подвеска, 12 – грузы

Режим испытания:

диаметр шарика  $D =$  мм, нагрузка  $F =$  кгс ( Н),

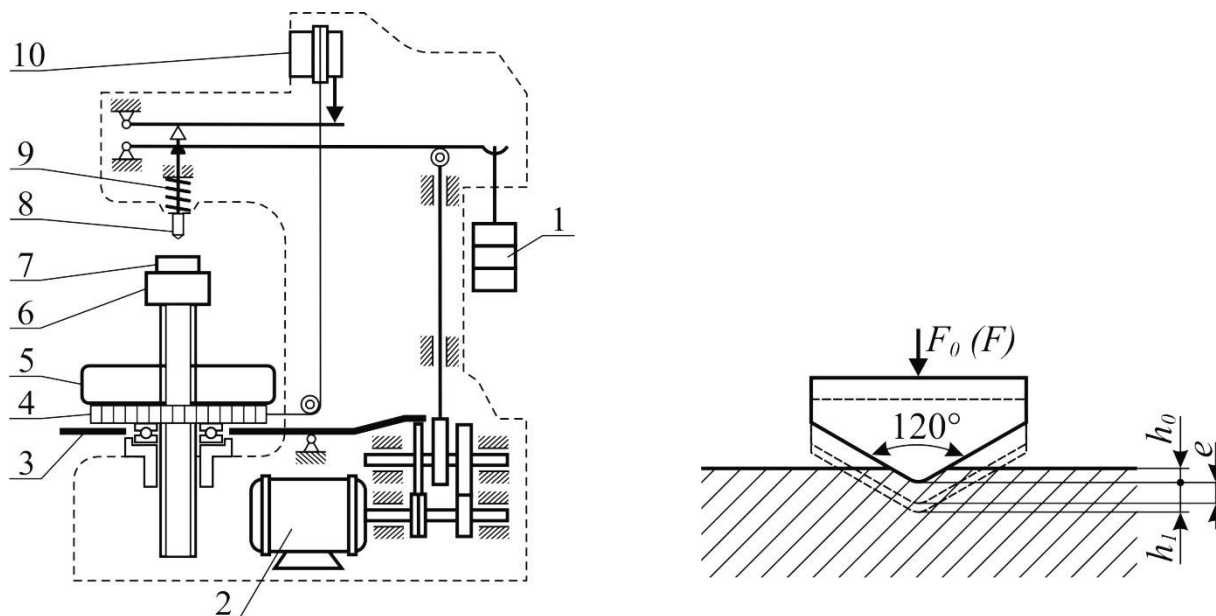
время выдержки под нагрузкой  $t =$  с.

|   |      |  |  |
|---|------|--|--|
| Материал образца  |      |  |  |
| Диаметр отпечатка $d$ , мм  |      |  |  |
| Средний диаметр отпечатка $d_{\text{ср}}$ , мм  |      |  |  |
| Число твердости по Бринеллю   |      |  |  |
| $HB = \frac{F}{\frac{\pi D}{2} (D - \sqrt{D^2 - d_{\text{ср}}^2})}, \frac{\text{кгс}}{\text{мм}^2}$ | $HB$ |  |  |

## 2. Определение твердости по Роквеллу

Марка твердомера

Схема твердомера



1 – грузы, 2 – электродвигатель, 3 – педаль, 4 – кольцо, 5 – маховик,  
6 – столик, 7 – образец, 8 – алмазный конус, 9 – пружина, 10 – индикатор

Режим испытания:

вид наконечника –

нагрузка  $F =$                       кгс (                      Н),

шкала

|  |         |  |  |
|--|---------|--|--|
| Материал образца                         |         |  |  |
| Отсчёты чисел твёрдости по шкале прибора |         |  |  |
| Среднее значение числа твёрдости         | $HRC_3$ |  |  |

Работа выполнена « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

## Работа 8 ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДАРНОЙ ВЯЗКОСТИ

Цель работы:

Эскиз образца

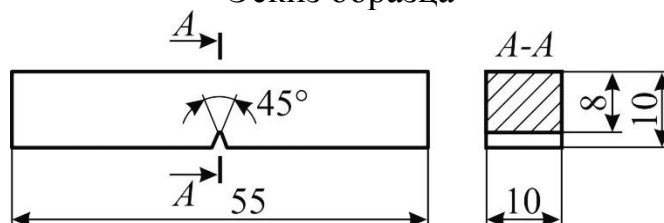
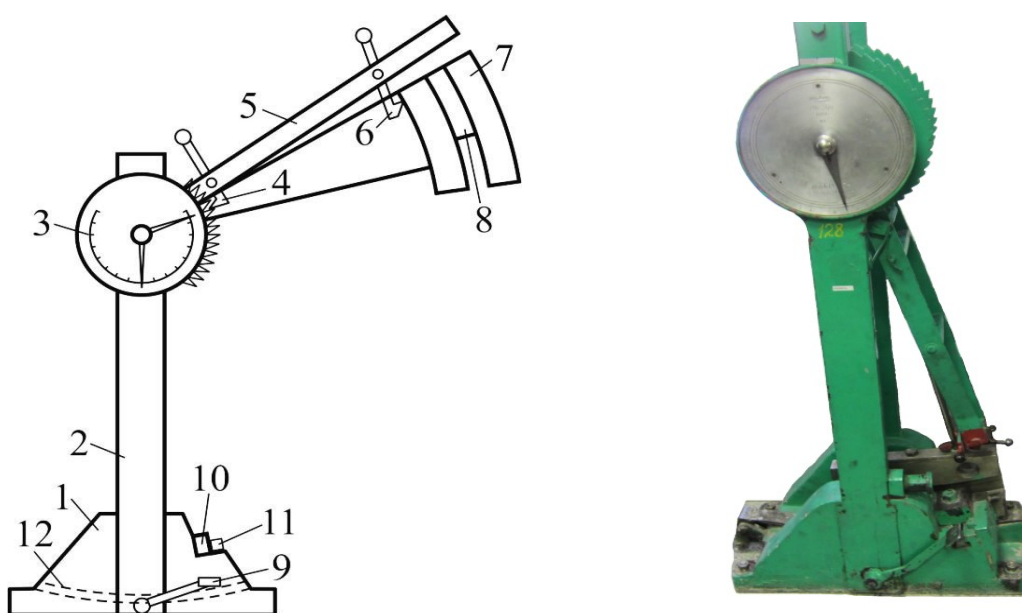


Схема маятникового копра



1 – основание, 2 – стойка, 3 – шкала; 4 – храповик, 5 – подъемная рама, 6 – защелка, 7 – маятник, 8 – нож, 9 – педаль, 10 – опора, 11 – образец, 12 – ленточный тормоз

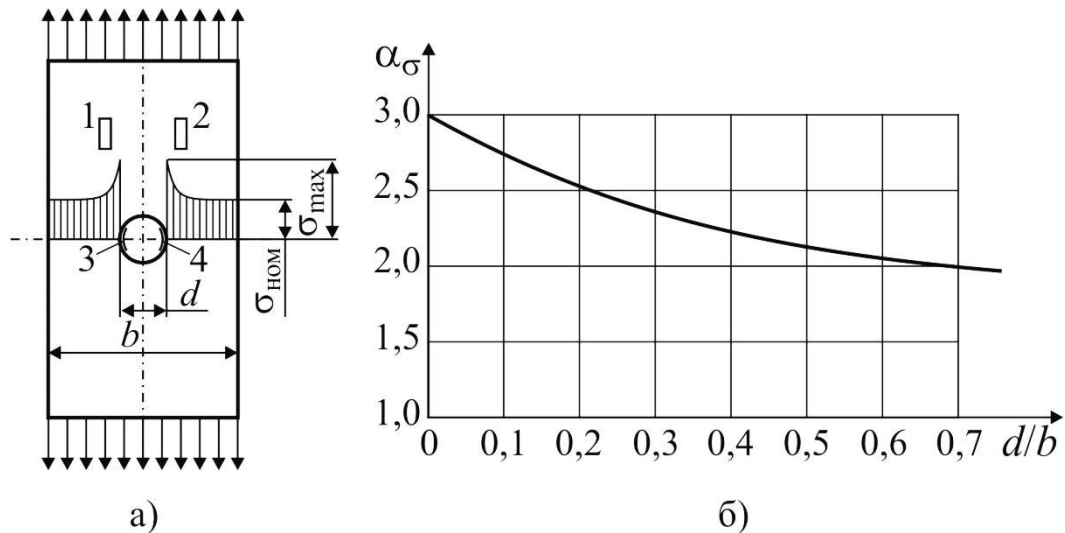
Материал образца – \_\_\_\_\_, площадь сечения  $S_0 =$  \_\_\_\_\_  $\text{см}^2$ .

|  |  |
|--|--|
| Энергия, запасенная маятником, $A_1$ , кгс·м                 |  |
| Энергия, оставшаяся после разрушения образца, $A_2$ , кгс·м  |  |
| Энергия, затраченная на разрушение $A_H = A_1 - A_2$ , кгс·м |  |
| Ударная вязкость $a_H = A_H/S_0$ , кгс·м/см <sup>2</sup>     |  |

Работа выполнена « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ г.

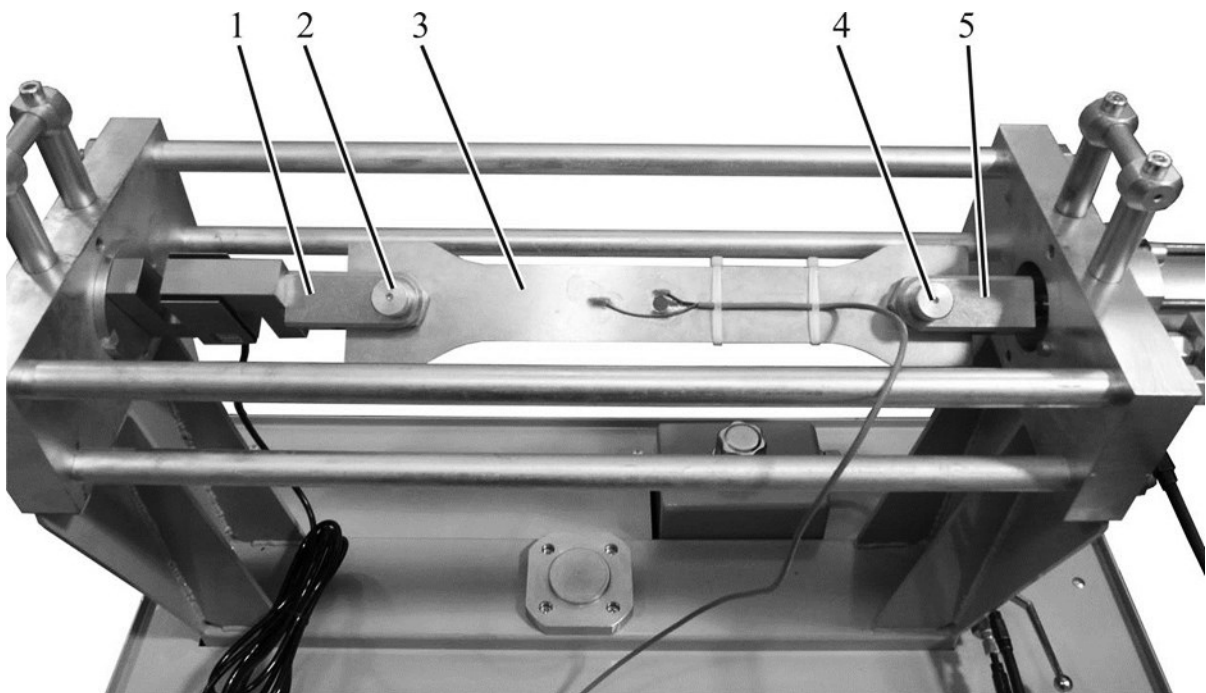
## Работа 9 ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА КОНЦЕНТРАЦИИ НАПРЯЖИЙ

Цель работы:



Концентрация напряжений в растянутой полосе с отверстием:  
а – распределение напряжений по ширине полосы (1, 2, 3 и 4 – тензорезисторы); б – зависимость теоретического коэффициента концентрации напряжений от соотношения  $d/b$

Установка для определения коэффициента концентрации напряжений



1 и 5 – захваты, 2 и 4 – пальцы, 3 – образец с отверстием

Материал образца –

Модуль упругости  $E =$  \_\_\_\_\_ кгс/мм<sup>2</sup> ( \_\_\_\_\_ МПа).

Размеры поперечного сечения образца:

ширина  $b =$  \_\_\_\_\_ мм; толщина  $t =$  \_\_\_\_\_ мм.

Диаметр отверстия  $d =$  \_\_\_\_\_ мм.

Предварительная нагрузка  $F_0 =$  \_\_\_\_\_ кгс.

Основная нагрузка  $F =$  \_\_\_\_\_ кгс.

Таблица показаний прибора

| Нагрузка,<br>кгс | Показания тензорезисторов |              |       |              |       |              |       |              |
|------------------|---------------------------|--------------|-------|--------------|-------|--------------|-------|--------------|
|                  | 1                         |              | 2     |              | 3     |              | 4     |              |
|                  | $A_1$                     | $\Delta A_1$ | $A_2$ | $\Delta A_2$ | $A_3$ | $\Delta A_3$ | $A_4$ | $\Delta A_4$ |
| $F_0 =$          |                           |              |       |              |       |              |       |              |
| $F_0 + F =$      |                           |              |       |              |       |              |       |              |

Определение цены деления прибора (по показаниям 1-го и 2-го тензорезисторов):

$$\sigma^T = \frac{F}{bt} = \frac{\text{кгс}}{\text{мм}^2} \text{ ( _____ МПа)}.$$

Цена деления прибора для измерения деформации:

$$k_\sigma = \frac{2\sigma^T}{\Delta A_1 + \Delta A_2} = \frac{\text{кгс}}{\text{мм}^2} / \text{дел.} \text{ ( _____ МПа/дел.)}.$$

Номинальные напряжения в сечении, ослабленном отверстием:

$$\sigma_{\text{ном}} = \frac{F}{(b-d)t} = \frac{\text{кгс}}{\text{мм}^2} \text{ ( _____ МПа)}.$$

Максимальные напряжения в зоне концентрации:

$$\sigma_{\text{max}} = \frac{\Delta A_3 + \Delta A_4}{2} k_\sigma = \frac{\text{кгс}}{\text{мм}^2} \text{ ( _____ МПа)}.$$

Коэффициент концентрации напряжений для ослабленного отверстием сечения:

$$\alpha_\sigma = \sigma_{\text{max}} / \sigma_{\text{ном}} = \text{_____} / \text{_____} = \text{_____}.$$

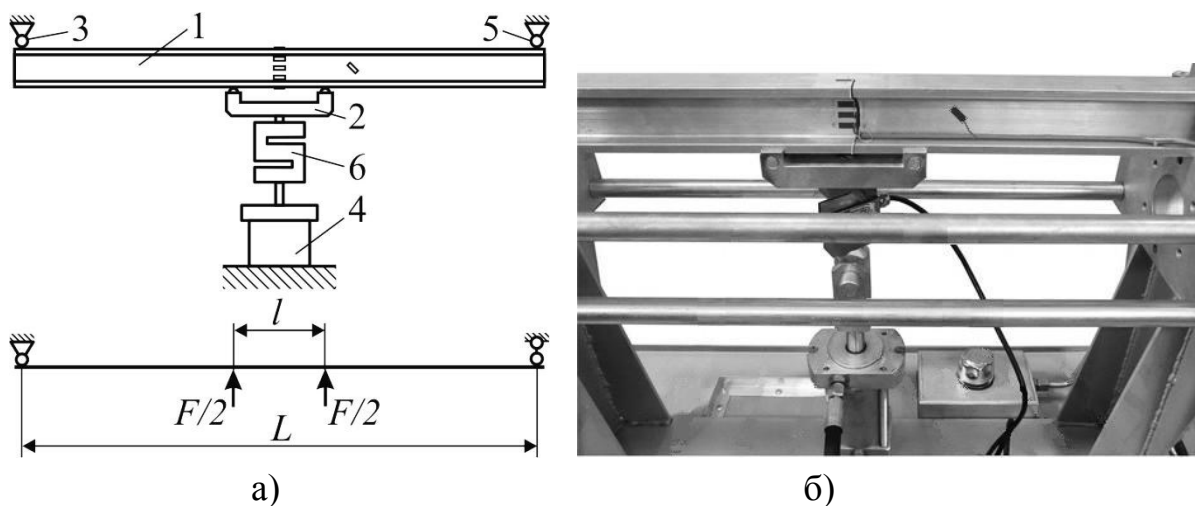
Работа выполнена « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_\_ г.

## Работа 10

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ИЗГИБЕ БАЛКИ

Цель работы:

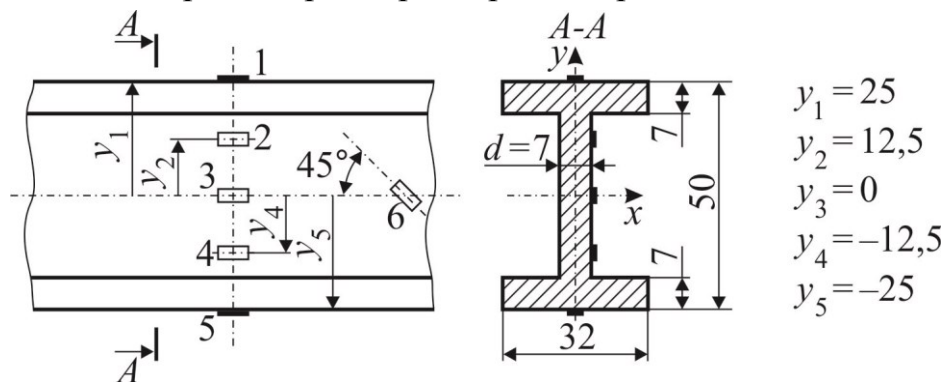
Испытательная установка: расчетная схема (а) и внешний вид (б)



1 – балка, 2 – двуплечий рычаг, 3 и 5 – верхние опоры, 4 – гидроцилиндр, 6 – силоизмеритель

Исходные данные:

Расположение тензорезисторов и размеры поперечного сечения балки, мм



Материал балки –

Модуль упругости  $E =$  кгс/мм<sup>2</sup> ( МПа).

Модуль сдвига  $G =$  кгс/мм<sup>2</sup> ( МПа).

Размеры балки (указаны на рисунке): высота  $h = 50$  мм, ширина полки  $b = 32$  мм, толщина стенки  $d = 7$  мм, толщина полки  $t = 7$  мм.

Осей момент инерции сечения  $I_x =$  мм<sup>4</sup>.

Статический момент площади отсечённой части  $S_x^{отс} =$  мм<sup>3</sup>.

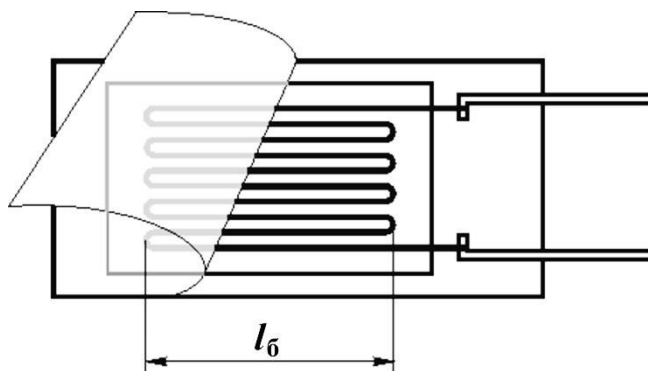
Расстояние между опорами  $L =$  мм.

Расстояние между точками приложения нагрузки  $l =$  мм.

Предварительная нагрузка  $F_0 =$  кгс ( кН),

основная (расчетная) нагрузка  $F =$  кгс ( кН).

Схема тензорезистора



База тензорезистора  $l_6 =$  .

Марка измерительного прибора –

Цена деления измерительного прибора  $k_\varepsilon =$  .

Таблица показаний прибора

| Нагрузка,<br>кгс (кН) | Область<br>растяжения |              |       |              | Нейтр.<br>ось |              | Область<br>сжатия |              |       |              | 45°   |              |
|-----------------------|-----------------------|--------------|-------|--------------|---------------|--------------|-------------------|--------------|-------|--------------|-------|--------------|
|                       | $A_1$                 | $\Delta A_1$ | $A_2$ | $\Delta A_2$ | $A_3$         | $\Delta A_3$ | $A_4$             | $\Delta A_4$ | $A_5$ | $\Delta A_5$ | $A_6$ | $\Delta A_6$ |
| $F_0 =$               |                       |              |       |              |               |              |                   |              |       |              |       |              |
| $F_0 + F =$           |                       |              |       |              |               |              |                   |              |       |              |       |              |

1. Нормальные напряжения в точках сечения:

а) по результатам эксперимента:

$$\sigma_{(1)}^3 = E \cdot \Delta A_1 \cdot k_\varepsilon = \quad = \quad \text{кгс/мм}^2 \quad ( \quad \text{МПа}),$$

$$\sigma_{(2)}^3 = E \cdot \Delta A_2 \cdot k_\varepsilon = \quad = \quad \text{кгс/мм}^2 \quad ( \quad \text{МПа}),$$

$$\sigma_{(3)}^3 = E \cdot \Delta A_3 \cdot k_\varepsilon = \quad = \quad \text{кгс/мм}^2 \quad ( \quad \text{МПа}),$$

$$\sigma_{(4)}^3 = E \cdot \Delta A_4 \cdot k_\varepsilon = \quad = \quad \text{кгс/мм}^2 \quad ( \quad \text{МПа}),$$

$$\sigma_{(5)}^3 = E \cdot \Delta A_5 \cdot k_\varepsilon = \quad = \quad \text{кгс/мм}^2 \quad ( \quad \text{МПа}).$$



б) по результатам теоретического расчета:

$$\sigma_{(1)}^T = \frac{F \cdot (L - l)}{4I_x} \cdot y_1 = \underline{\hspace{2cm}} = \text{кгс/мм}^2 \quad (\text{МПа}),$$

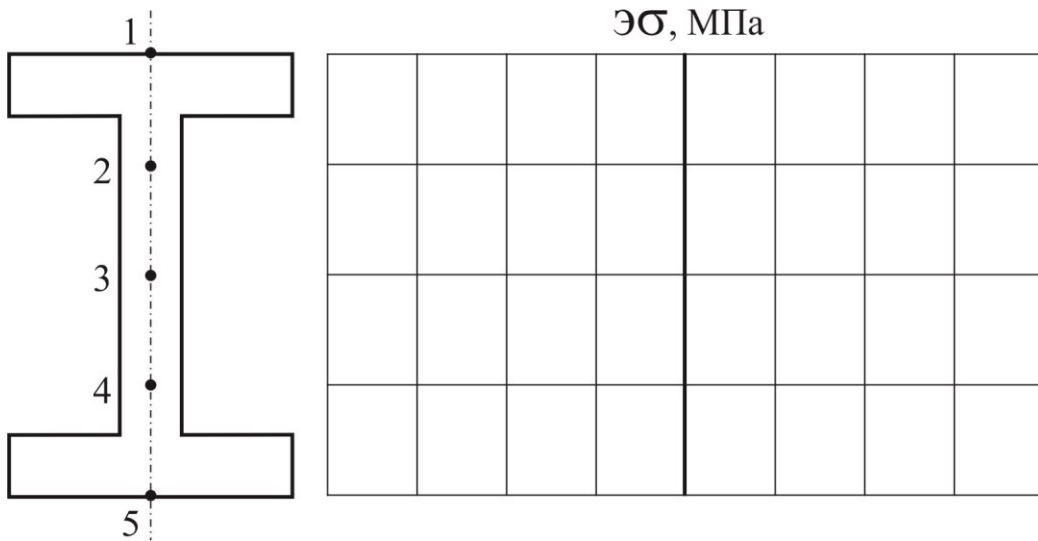
$$\sigma_{(2)}^T = \frac{F \cdot (L - l)}{4I_x} \cdot y_2 = \underline{\hspace{2cm}} = \text{кгс/мм}^2 \quad (\text{МПа}),$$

$$\sigma_{(3)}^T = \frac{F \cdot (L - l)}{4I_x} \cdot y_3 = \underline{\hspace{2cm}} = \text{кгс/мм}^2 \quad (\text{МПа}),$$

$$\sigma_{(4)}^T = \frac{F \cdot (L - l)}{4I_x} \cdot y_4 = \underline{\hspace{2cm}} = \text{кгс/мм}^2 \quad (\text{МПа}),$$

$$\sigma_{(5)}^T = \frac{F \cdot (L - l)}{4I_x} \cdot y_5 = \underline{\hspace{2cm}} = \text{кгс/мм}^2 \quad (\text{МПа}).$$

Эпюра расчетных напряжений и точки,  
соответствующие результатам эксперимента



2. Определение максимальных касательных напряжений в балке

а) теоретически:

$$\tau_{\max}^T = \frac{0,5F \cdot S_x^{\text{отс}}}{I_x \cdot d} = \text{-----} = \text{кгс/мм}^2 \quad ( \quad \text{МПа});$$

б) по результатам эксперимента:

$$\tau_6^{\text{э}} = \tau_{\max}^{\text{э}} = \frac{E}{1 + \mu} \cdot \frac{\Delta A_6}{2} \cdot k_{\varepsilon} =$$
$$= \text{-----} \cdot \text{-----} \cdot \text{-----} = \text{кгс/мм}^2 \quad ( \quad \text{МПа}).$$

*Примечание: в последней формуле величина  $\Delta A_6$  делится на 2, т. к. для измерения величины  $A_6$  в лабораторной работе одновременно используются два тензорезистора, сигналы от которых суммируются, и показания регистрирующего прибора соответствуют удвоенному значению напряжения (деформации).*

Относительная погрешность экспериментального определения максимальных касательных напряжений:

$$\delta\tau = \frac{\tau_{\max}^T - \tau_{\max}^{\text{э}}}{\tau_{\max}^T} \cdot 100\% = \text{-----} \cdot 100\% = \text{-----}.$$

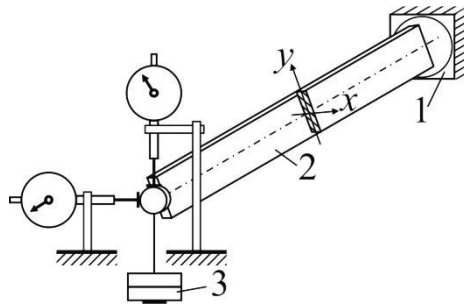
Работа выполнена « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

# Работа 11

## ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПРИ КОСОМ ИЗГИБЕ

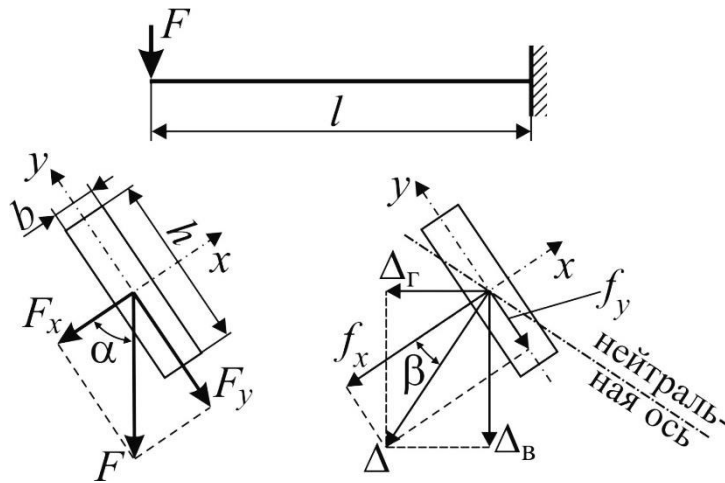
Цель работы:

Схема установки



1 – опора, 2 – балка, 3 – подвеска для грузов

Действующие силы и перемещения конца балки



Исходные данные:

материал балки – \_\_\_\_\_,

модуль упругости  $E =$  \_\_\_\_\_ кгс/мм<sup>2</sup> ( \_\_\_\_\_ МПа).

Размеры: длина балки  $l =$  \_\_\_\_\_ мм,

высота сечения  $h =$  \_\_\_\_\_ мм, ширина сечения  $b =$  \_\_\_\_\_ мм.

Главные моменты инерции поперечного сечения:

$$I_x = \frac{bh^3}{12} = \text{---} = \text{---} \text{ мм}^4, \quad I_y = \frac{hb^3}{12} = \text{---} = \text{---} \text{ мм}^4.$$

Угол между направлением действия силы и главной осью  $x$ :  $\alpha = \text{---}$ .

Предварительная нагрузка  $F_0 = \text{---}$  кгс.

Рабочая нагрузка  $F = \text{---}$  кгс.

Теоретическая величина прогиба при рабочей нагрузке  $F$ :  
перемещение вдоль оси  $x$

$$f_x = \frac{F_x l^3}{3EI_y} = \frac{Fl^3 \cos \alpha}{3EI_y} = \text{---} = \text{---} \text{ мм},$$

перемещение вдоль оси  $y$

$$f_y = \frac{F_y l^3}{3EI_x} = \frac{Fl^3 \sin \alpha}{3EI_x} = \text{---} = \text{---} \text{ мм},$$

полная величина прогиба

$$\Delta^T = \sqrt{f_x^2 + f_y^2} = \text{---} = \text{---} \text{ мм}.$$

Теоретическая величина угла между направлением перемещения и главной осью сечения  $x$ :

$$\beta^T = \arctg \frac{f_y}{f_x} = \arctg \text{---} = \text{---}.$$

Экспериментальная величина прогиба:

Таблица показаний приборов

| Номер опыта                  | Нагрузка, кгс | Показания индикаторов, мм      |                   |                           |              |
|------------------------------|---------------|--------------------------------|-------------------|---------------------------|--------------|
|                              |               | горизонтальн.                  | $\Delta_{\Gamma}$ | вертикальн.               | $\Delta_{В}$ |
| 1                            | $F_0 =$       |                                |                   |                           |              |
|                              | $F_0 + F =$   |                                |                   |                           |              |
| 2                            | $F_0 =$       |                                |                   |                           |              |
|                              | $F_0 + F =$   |                                |                   |                           |              |
| 3                            | $F_0 =$       |                                |                   |                           |              |
|                              | $F_0 + F =$   |                                |                   |                           |              |
| Среднее значение перемещения |               | $\Delta_{\Gamma \text{ ср}} =$ |                   | $\Delta_{В \text{ ср}} =$ |              |

Величина полного прогиба:

$$\Delta^{\text{э}} = \sqrt{\Delta_{\Gamma \text{ ср}}^2 + \Delta_{В \text{ ср}}^2} = \quad \text{мм.}$$

Экспериментальная величина угла между направлением перемещения и главной осью сечения  $x$ :

$$\beta^{\text{э}} = \alpha - \arctg \frac{\Delta_{\Gamma \text{ ср}}}{\Delta_{В \text{ ср}}} = \quad .$$

Сравнение теоретических и экспериментальных результатов:

$$\delta_{\Delta} = \frac{\Delta^{\Gamma} - \Delta^{\text{э}}}{\Delta^{\Gamma}} \cdot 100\% = \quad \cdot 100\% = \quad ,$$

$$\delta_{\beta} = \frac{\beta^{\Gamma} - \beta^{\text{э}}}{\beta^{\Gamma}} \cdot 100\% = \quad \cdot 100\% = \quad .$$

Работа выполнена « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

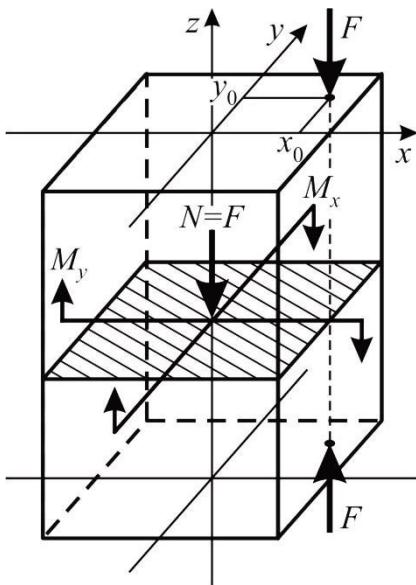
## Работа 12

### НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ВНЕЦЕНТРЕННОМ СЖАТИИ ИЛИ РАСТЯЖЕНИИ СТЕРЖНЯ БОЛЬШОЙ ЖЕСТКОСТИ

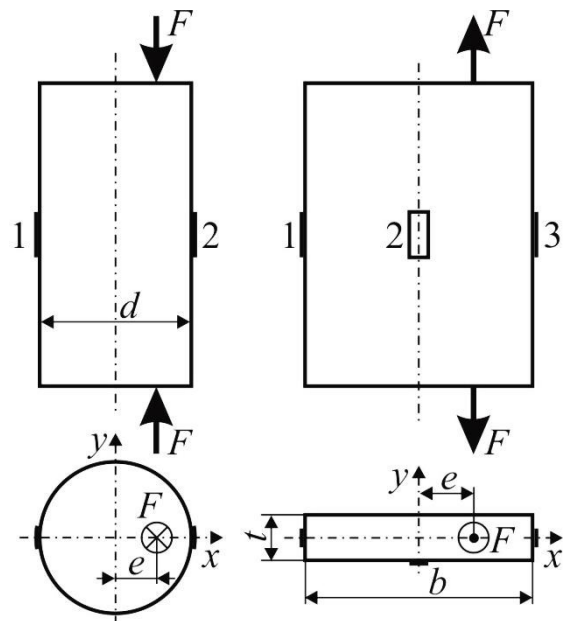
Цель работы:

Марка машины:

Внутренние силовые факторы в поперечном сечении стержня при внецентренном сжатии



Схемы образцов с тензорезисторами



Исходные данные:

Тип тензорезистора – \_\_\_\_\_, база \_\_\_\_\_ мм.

Марка измерительного прибора – \_\_\_\_\_

Цена деления измерительного прибора  $k_\varepsilon =$  \_\_\_\_\_

Материал образца – \_\_\_\_\_

Размеры поперечного сечения  $d =$  \_\_\_\_\_ мм,  $b =$  \_\_\_\_\_ мм,  $t =$  \_\_\_\_\_ мм.

Модуль упругости  $E =$  \_\_\_\_\_ кгс/мм<sup>2</sup> ( \_\_\_\_\_ МПа).

Эксцентриситет  $e =$  \_\_\_\_\_ мм.

Площадь поперечного сечения образца  $S =$  \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ мм<sup>2</sup>.

Осевой момент инерции  $I_y = \text{-----} = \text{мм}^4$ .

Предварительная нагрузка  $F_0 = \text{кгс}$ ,

рабочая нагрузка  $F = \text{кгс}$ .

### Определение напряжений

Теоретический расчёт:

а) образец круглого поперечного сечения, нагрузка сжимающая

$$\sigma_{(1)}^T = -\frac{F}{S} + \frac{F \cdot e}{I_y} \cdot \frac{d}{2} = \text{-----} + \text{-----} = \text{кгс/мм}^2 \text{ ( МПа),}$$

$$\sigma_{(2)}^T = -\frac{F}{S} - \frac{F \cdot e}{I_y} \cdot \frac{d}{2} = \text{-----} - \text{-----} = \text{кгс/мм}^2 \text{ ( МПа);}$$

б) образец прямоугольного сечения, нагрузка растягивающая

$$\sigma_{(1)}^T = \frac{F}{S} - \frac{F \cdot e}{I_y} \cdot \frac{b}{2} = \text{-----} - \text{-----} = \text{кгс/мм}^2 \text{ ( МПа),}$$

$$\sigma_{(2)}^T = \frac{F}{S} = \text{-----} = \text{кгс/мм}^2 \text{ ( МПа),}$$

$$\sigma_{(3)}^T = \frac{F}{S} + \frac{F \cdot e}{I_y} \cdot \frac{b}{2} = \text{-----} + \text{-----} = \text{кгс/мм}^2 \text{ ( МПа),}$$

*Примечание: в формулах расчета напряжений в образце прямоугольного поперечного сечения следует учитывать знак эксцентриситета  $e$ . На рисунке выше показана положительная величина  $e$ .*

### Экспериментальные результаты

| Нагрузка, кгс | Показания тензорезисторов |              |       |              |       |              |
|---------------|---------------------------|--------------|-------|--------------|-------|--------------|
|               | $A_1$                     | $\Delta A_1$ | $A_2$ | $\Delta A_2$ | $A_3$ | $\Delta A_3$ |
| $F_0 =$       |                           |              |       |              |       |              |
| $F_0 + F =$   |                           |              |       |              |       |              |

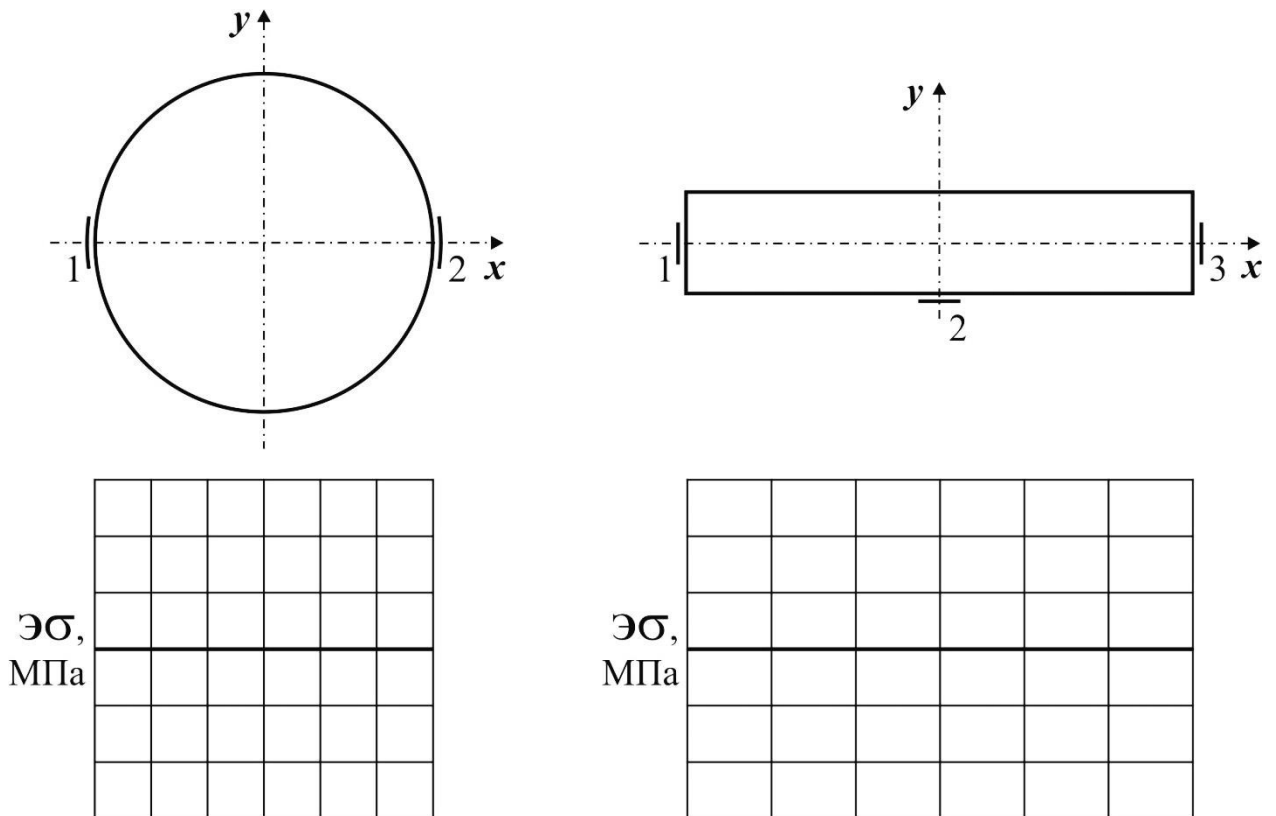
Величины напряжений:

$$\sigma_{(1)}^3 = \Delta A_1 k_\varepsilon E = \quad = \quad \text{кгс/мм}^2 \quad (\quad \text{МПа}),$$

$$\sigma_{(2)}^3 = \Delta A_2 k_\varepsilon E = \quad = \quad \text{кгс/мм}^2 \quad (\quad \text{МПа}),$$

$$\sigma_{(3)}^3 = \Delta A_3 k_\varepsilon E = \quad = \quad \text{кгс/мм}^2 \quad (\quad \text{МПа}).$$

Внутренние силовые факторы в сечении,  
эпюры расчетных напряжений и экспериментальные точки



Сравнение результатов теоретических расчётов с экспериментальными данными для исследуемых точек:

$$\delta_1 = \frac{\sigma_{(1)}^T - \sigma_{(1)}^3}{\sigma_{(1)}^T} \cdot 100\% = \underline{\hspace{2cm}} \cdot 100\% = \quad ,$$

$$\delta_2 = \frac{\sigma_{(2)}^T - \sigma_{(2)}^3}{\sigma_{(2)}^T} \cdot 100\% = \underline{\hspace{2cm}} \cdot 100\% = \quad ,$$

$$\delta_3 = \frac{\sigma_{(3)}^T - \sigma_{(3)}^3}{\sigma_{(3)}^T} \cdot 100\% = \underline{\hspace{2cm}} \cdot 100\% = \quad .$$

Работа выполнена «    »                                  20   г.

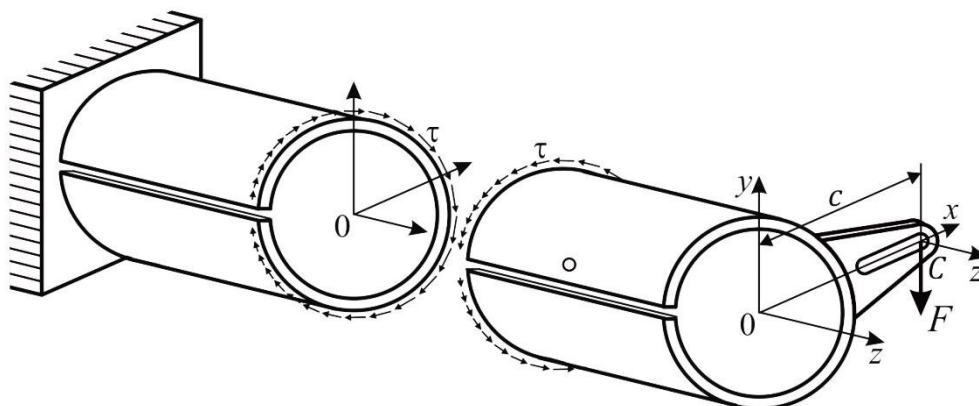


## Работа 13

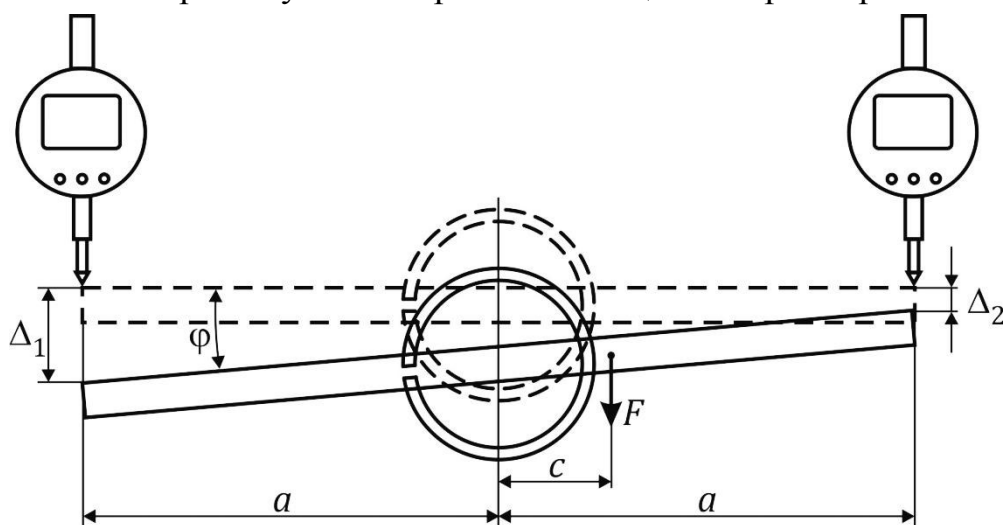
### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕНТРА ИЗГИБА ТОНКОСТЕННОГО НЕЗАМКНУТОГО ПРОФИЛЯ

Цель работы:

Схема установки



Измерение угла поворота с помощью микрометров



Исходные данные:

расстояние от оси образца до центра упора микрометра  $a =$                     мм,

наружный диаметр образца  $D =$                     мм,

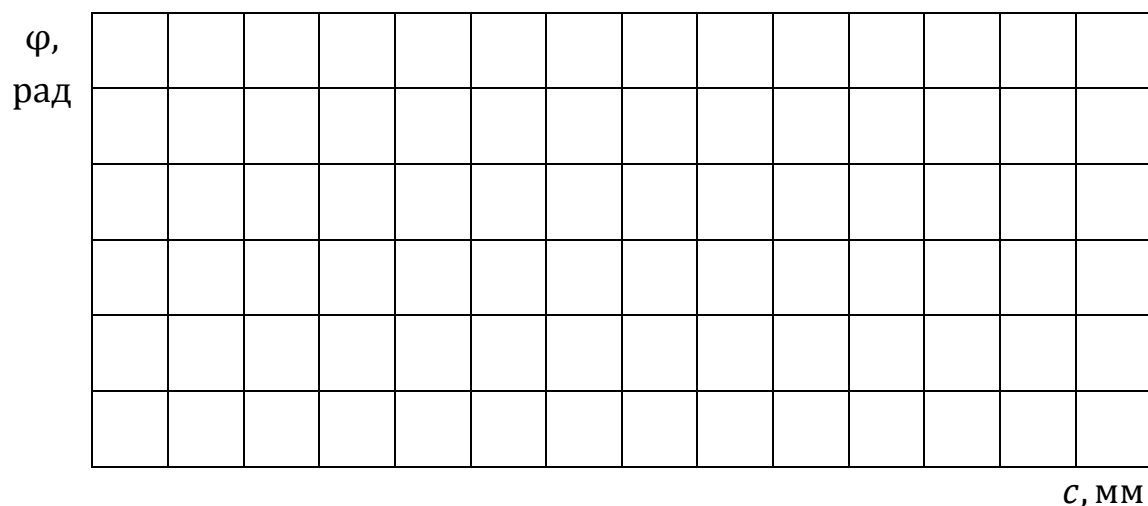
внутренний диаметр образца  $d =$                     мм,

нагрузка, прикладываемая к подвесу  $F =$                     кгс (                    Н).

Таблица экспериментальных результатов

| $c$ , мм | $\Delta_1$ , мм | $\Delta_2$ , мм | $\varphi = (\Delta_1 - \Delta_2)/2a$ , рад |
|----------|-----------------|-----------------|--|
|          |                 |                 |  |
|          |                 |                 |  |
|          |                 |                 |  |
|          |                 |                 |  |
|          |                 |                 |  |
|          |                 |                 |  |
|          |                 |                 |  |
|          |                 |                 |  |
|          |                 |                 |  |
|          |                 |                 |  |
|          |                 |                 |  |
|          |                 |                 |  |
|          |                 |                 |  |
|          |                 |                 |  |
|          |                 |                 |  |
|          |                 |                 |  |

График зависимости  $\varphi = \varphi(c)$



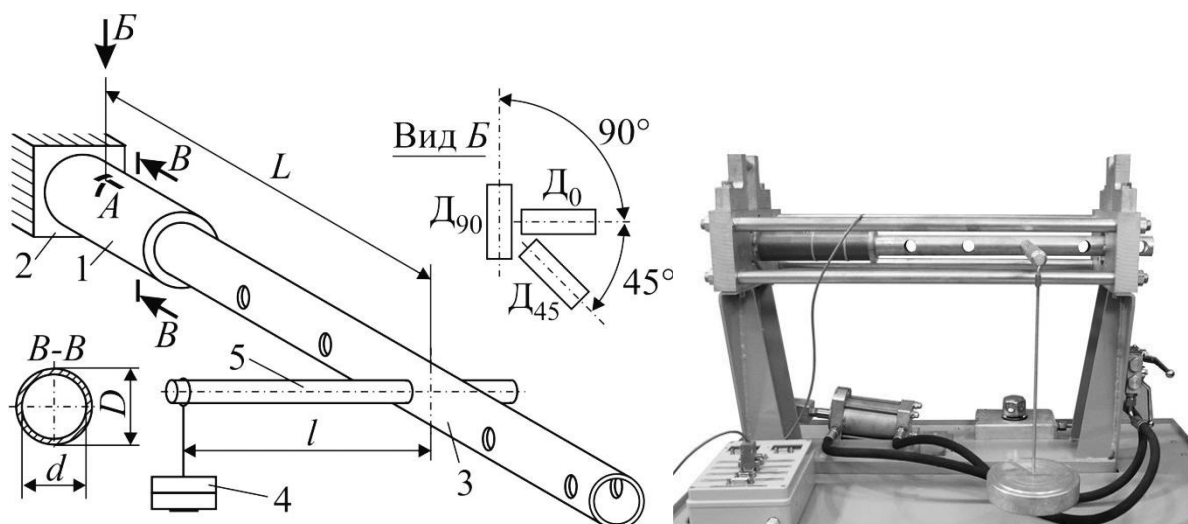
Работа выполнена « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

## Работа 14

### ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЁННОГО СОСТОЯНИЯ В ТОНКОСТЕННОЙ ТРУБЕ ПРИ СЛОЖНОМ НАГРУЖЕНИИ

Цель работы:

Схема и внешний вид установки



1 – тонкостенная труба, 2 – опора (заделка), 3 – рычаг, 4 – грузы, 5 – поперечный рычаг, А – розетка тензорезисторов.

Исходные данные

|  |                |
|--|----------------|
| Данные о тензорезисторах:                        |                |
| тип  |                |
| база, мм   |                |
| Цена деления прибора $k_\epsilon$                |                |
| Материал трубы                                   |                |
| Модуль упругости $E$ , кгс/мм <sup>2</sup> (МПа) | (            ) |
| Модуль сдвига $G$ , кгс/мм <sup>2</sup> (МПа)    | (            ) |
| Коэффициент Пуассона $\mu$                       |                |
| Длина рычага $L$ , мм                            |                |
| Длина поперечного рычага $l$ , мм                |                |
| Наружный диаметр трубы $D$ , мм                  |                |
| Внутренний диаметр трубы $d$ , мм                |                |

Моменты сопротивления поперечного сечения тонкостенной трубы:

полярный  $W_p = \pi D_{cp}^2 t / 2 = \quad = \quad \text{мм}^3,$

осевой  $W_x = 0,5W_p = \quad = \quad \text{мм}^3.$

Начальная нагрузка  $F_0 = \quad \text{кгс ( \quad Н)},$

рабочая нагрузка  $F = \quad \text{кгс ( \quad Н)}.$

Определение главных напряжений и положения главных площадок в т. А  
а) теоретически:

$$\sigma_A = \frac{FL}{W_x} = \frac{\quad}{\quad} = \quad \text{кгс/мм}^2 \quad (\quad \text{МПа}),$$

$$\tau_A = \frac{Fl}{W_p} = \frac{\quad}{\quad} = \quad \text{кгс/мм}^2 \quad (\quad \text{МПа}).$$

$$\sigma_{1,3}^T = \frac{\sigma_A}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_A}{2}\right)^2 + \tau_A^2} =$$

$$\sigma_1^T = \quad \text{кгс/мм}^2 \quad (\quad \text{МПа}), \quad \sigma_3^T = \quad \text{кгс/мм}^2 \quad (\quad \text{МПа}).$$

Угол между исходными и главными площадками:

$$\varphi^T = \frac{1}{2} \arctg \left| \frac{2\tau_A}{\sigma_A} \right| = \frac{1}{2} \arctg \left| \frac{\quad}{\quad} \right| = \quad .$$

*Примечание: здесь и ниже во избежание путаницы со знаками в формулах для определения угла между исходными и главными площадками находится абсолютная величина угла  $\varphi$ .*

б) по результатам эксперимента:

| Номер опыта                 | Нагрузка, Н          | 0°                   |                 | 45°                   |                  | 90°                   |                  |
|-----------------------------|----------------------|----------------------|-----------------|-----------------------|------------------|-----------------------|------------------|
|                             |                      | A <sub>0</sub>       | ΔA <sub>0</sub> | A <sub>45</sub>       | ΔA <sub>45</sub> | A <sub>90</sub>       | ΔA <sub>90</sub> |
| 1                           | F <sub>0</sub> =     |                      |                 |                       |                  |                       |                  |
|                             | F <sub>0</sub> + F = |                      |                 |                       |                  |                       |                  |
| 2                           | F <sub>0</sub> =     |                      |                 |                       |                  |                       |                  |
|                             | F <sub>0</sub> + F = |                      |                 |                       |                  |                       |                  |
| 3                           | F <sub>0</sub> =     |                      |                 |                       |                  |                       |                  |
|                             | F <sub>0</sub> + F = |                      |                 |                       |                  |                       |                  |
| Средние значения приращений |                      | ΔA <sub>0 ср</sub> = |                 | ΔA <sub>45 ср</sub> = |                  | ΔA <sub>90 ср</sub> = |                  |

$$\varepsilon_0 = \Delta A_{0 \text{ ср}} \cdot k_\varepsilon = \quad = \quad ;$$

$$\varepsilon_{45} = \Delta A_{45 \text{ ср}} \cdot k_\varepsilon = \quad = \quad ;$$

$$\varepsilon_{90} = \Delta A_{90 \text{ ср}} \cdot k_\varepsilon = \quad = \quad .$$

$$\varepsilon_{1,3} = \frac{\varepsilon_0 + \varepsilon_{90}}{2} \pm \frac{1}{2} \sqrt{(\varepsilon_0 - \varepsilon_{90})^2 + (2\varepsilon_{45} - \varepsilon_0 - \varepsilon_{90})^2} =$$

$$\varepsilon_1 = \quad , \quad \varepsilon_3 = \quad .$$

Главные напряжения:

$$\sigma_1^3 = \frac{E}{1 - \mu^2} (\varepsilon_1 + \mu\varepsilon_3) = \quad = \quad \text{кгс/мм}^2 \quad (\quad \text{МПа}),$$

$$\sigma_3^3 = \frac{E}{1 - \mu^2} (\varepsilon_3 + \mu\varepsilon_1) = \quad = \quad \text{кгс/мм}^2 \quad (\quad \text{МПа}).$$

Угол между исходными и главными площадками:

$$\varphi^{\text{э}} = \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \left| \frac{2\varepsilon_{45} - \varepsilon_0 - \varepsilon_{90}}{\varepsilon_0 - \varepsilon_{90}} \right| = \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \left| \text{_____} \right| = \text{_____} .$$

Сравнение теоретических и экспериментальных результатов:

$$\delta_{\sigma_1} = \frac{\sigma_1^{\text{т}} - \sigma_1^{\text{э}}}{\sigma_1^{\text{т}}} \cdot 100\% = \text{_____} \cdot 100\% = \text{_____} ,$$

$$\delta_{\sigma_3} = \frac{\sigma_3^{\text{т}} - \sigma_3^{\text{э}}}{\sigma_3^{\text{т}}} \cdot 100\% = \text{_____} \cdot 100\% = \text{_____} ,$$

$$\delta_{\varphi} = \frac{\varphi^{\text{т}} - \varphi^{\text{э}}}{\varphi^{\text{т}}} \cdot 100\% = \text{_____} \cdot 100\% = \text{_____} .$$

Работа выполнена « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

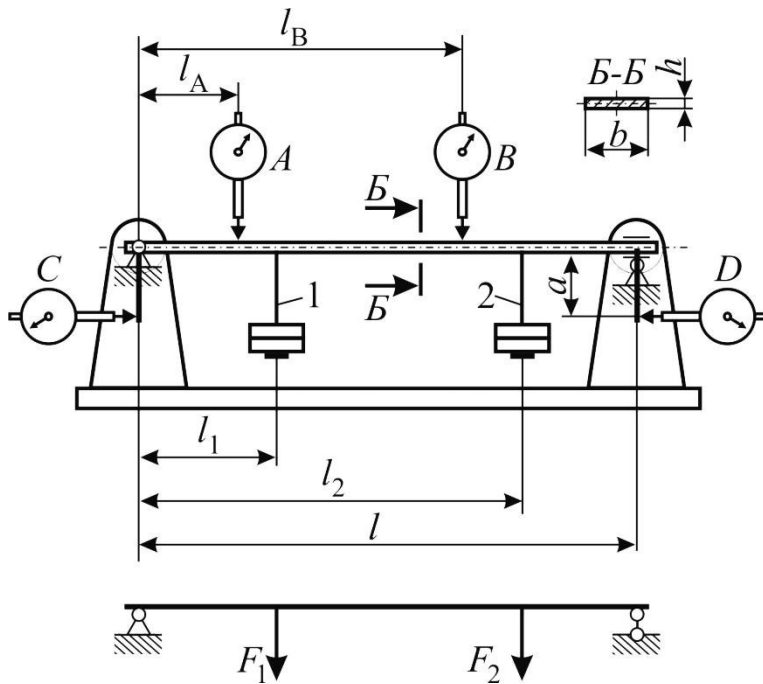
## Работа 15

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ПРИ ИЗГИБЕ БАЛКИ. ИЛЛЮСТРАЦИЯ ТЕОРЕМЫ О ВЗАИМНОСТИ РАБОТ

Цель работы:

#### А. Определение перемещений

Схема установки



1 и 2 – подвески для грузов

Исходные данные:

|         |                       |
|---------|-----------------------|
| $h =$   | мм;                   |
| $b =$   | мм;                   |
| $l =$   | мм;                   |
| $l_1 =$ | мм;                   |
| $l_2 =$ | мм;                   |
| $l_A =$ | мм;                   |
| $l_B =$ | мм;                   |
| $a =$   | мм;                   |
| $F_1 =$ | кгс;                  |
| $F_2 =$ | кгс;                  |
| $E =$   | кгс/мм <sup>2</sup> . |

#### Теоретический расчет

Расчетная схема балки; эпюры изгибающих моментов от внешних сил и от единичных нагрузок, расчёт прогибов в сечениях  $A$  и  $B$  и углов поворота в опорных сечениях:

Результаты теоретического расчета:

– прогибы:  $V_A^T =$  мм,  $V_B^T =$  мм;

– углы поворота в левом и правом опорных сечениях

$\Theta_C^T =$  (рад) = (град),  $\Theta_D^T =$  (рад) = (град).



## Экспериментальное определение перемещений

| Нагрузка, кгс              | Показания индикаторов |    |   |    |   |    |   |    |
|----------------------------|-----------------------|----|---|----|---|----|---|----|
|                            | A                     | ΔA | B | ΔB | C | ΔC | D | ΔD |
| $F_1 = 0, F_2 = 0$         |                       |    |   |    |   |    |   |    |
| $F_1 = \quad, F_2 = \quad$ |                       |    |   |    |   |    |   |    |

Прогибы в сечениях A и B:

$$V_A^э = \Delta A = \quad \text{мм}, \quad V_B^э = \Delta B = \quad \text{мм}.$$

Углы поворота в левом и правом опорных сечениях:

$$\Theta_C^э = \Delta C / a = \quad / \quad = \quad (\text{рад}) = \quad (\text{град}),$$

$$\Theta_D^э = \Delta D / a = \quad / \quad = \quad (\text{рад}) = \quad (\text{град}).$$

Сравнение экспериментальных и расчётных результатов:

$$\delta_A = \frac{V_A^T - V_A^э}{V_A^T} \cdot 100\% = \frac{\quad - \quad}{\quad} \cdot 100\% = \quad ,$$

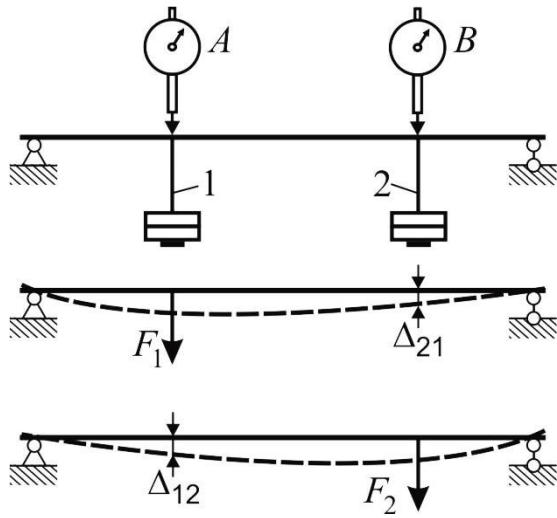
$$\delta_B = \frac{V_B^T - V_B^э}{V_B^T} \cdot 100\% = \frac{\quad - \quad}{\quad} \cdot 100\% = \quad ,$$

$$\delta_C = \frac{\Theta_C^T - \Theta_C^э}{\Theta_C^T} \cdot 100\% = \frac{\quad - \quad}{\quad} \cdot 100\% = \quad ,$$

$$\delta_D = \frac{\Theta_D^T - \Theta_D^э}{\Theta_D^T} \cdot 100\% = \frac{\quad - \quad}{\quad} \cdot 100\% = \quad .$$

## Б. Иллюстрация теоремы о взаимности работ

Схема нагружения



| Показания индикаторов        |           |                          |
|------------------------------|-----------|--------------------------|
| Нагрузка                     | Сечение B |                          |
|                              | B         | $\Delta B = \Delta_{21}$ |
| $F_1 = 0, F_2 = 0$           |           |                          |
| $F_1 = \text{ кгс}, F_2 = 0$ |           |                          |
| Нагрузка                     | Сечение A |                          |
|                              | A         | $\Delta A = \Delta_{12}$ |
| $F_1 = 0, F_2 = 0$           |           |                          |
| $F_1 = 0, F_2 = \text{ кгс}$ |           |                          |

Проверка выполнения условия:  $F_1 \Delta_{12} = F_2 \Delta_{21}$ :

$$F_1 \Delta_{12} = \quad = \quad \text{ кгс} \cdot \text{ мм};$$

$$F_2 \Delta_{21} = \quad = \quad \text{ кгс} \cdot \text{ мм}.$$

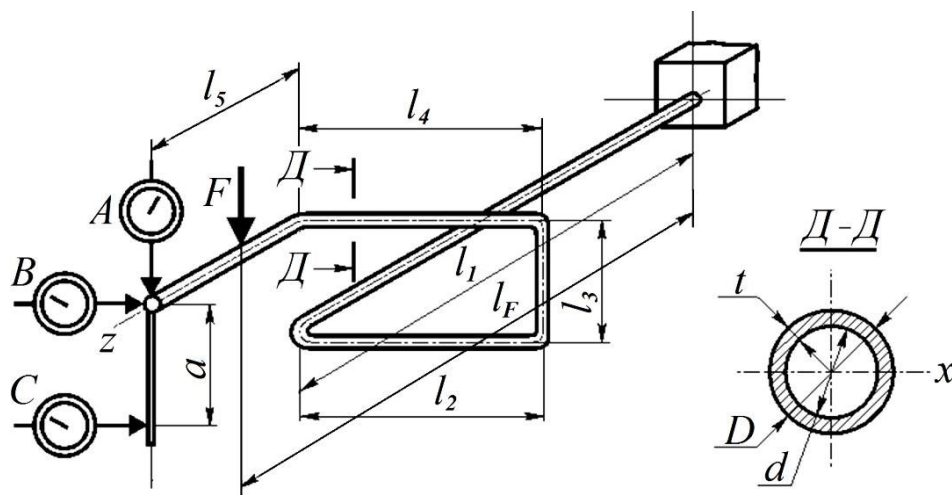
Работа выполнена «      » \_\_\_\_\_ 20     г.

## Работа 16

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ В ПРОСТРАНСТВЕННОЙ РАМЕ

Цель работы:

Схема установки



Исходные данные:

$D =$  мм,  
 $d =$  мм,  
 $t =$  мм,  
 $l_1 =$  мм,  
 $l_2 =$  мм,  
 $l_3 =$  мм,  
 $l_4 =$  мм,  
 $l_5 =$  мм,  
 $l_F =$  мм,  
 $a =$  мм.

Нагрузки: предварительная  $F_0 =$  кгс ( Н),  
 рабочая  $F =$  кгс ( Н).

Материал рамы – \_\_\_\_\_, упругие характеристики материала рамы:

$E =$  кгс/мм<sup>2</sup> ( МПа),  $G =$  кгс/мм<sup>2</sup> ( МПа).

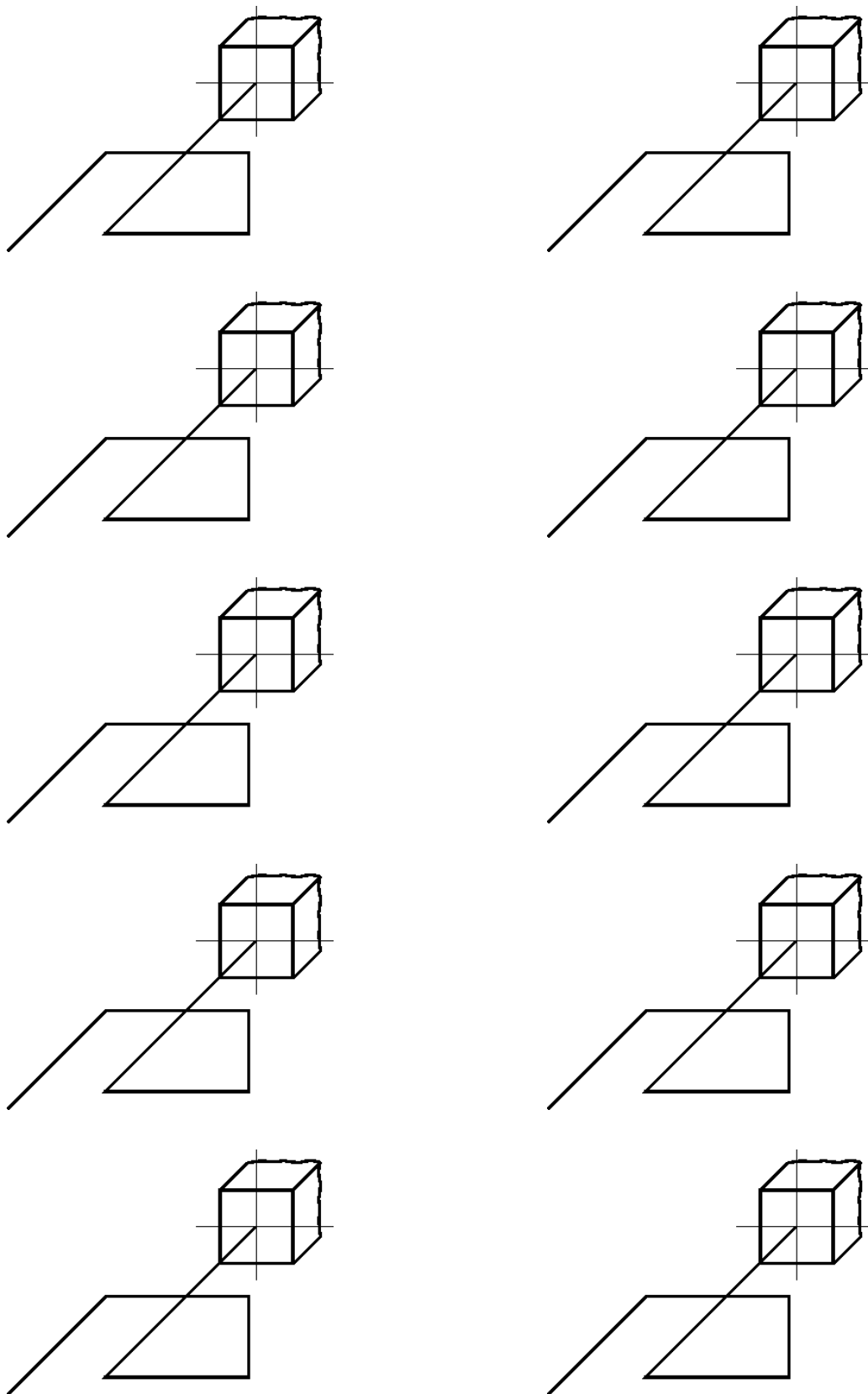
$$I_p = \frac{\pi D^4}{32} \left( 1 - \frac{d^4}{D^4} \right) = \text{мм}^4, \quad I_x = 0,5 I_p = \text{мм}^4.$$

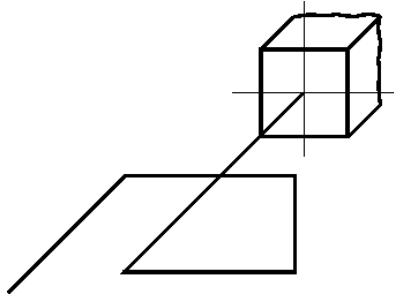
Экспериментальное определение перемещений

| Номер опыта      | Нагрузка, Н | Показания индикаторов, мм |            |                   |            |                   |            |
|------------------|-------------|---------------------------|------------|-------------------|------------|-------------------|------------|
|                  |             | A                         | $\Delta A$ | B                 | $\Delta B$ | C                 | $\Delta C$ |
| 1                | $F_0 =$     |                           |            |                   |            |                   |            |
|                  | $F_0 + F =$ |                           |            |                   |            |                   |            |
| 2                | $F_0 =$     |                           |            |                   |            |                   |            |
|                  | $F_0 + F =$ |                           |            |                   |            |                   |            |
| 3                | $F_0 =$     |                           |            |                   |            |                   |            |
|                  | $F_0 + F =$ |                           |            |                   |            |                   |            |
| Средние значения |             | $\Delta A_{cp} =$         |            | $\Delta B_{cp} =$ |            | $\Delta C_{cp} =$ |            |

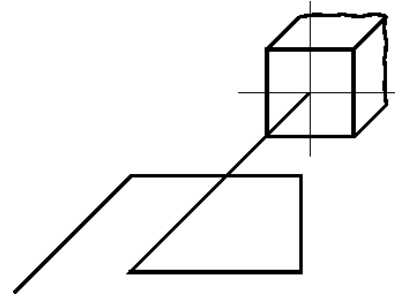
$$v^3 = \Delta A_{cp} = \text{мм}; \quad u^3 = \Delta B_{cp} = \text{мм}; \quad \varphi^3 = \frac{\Delta C_{cp} - u^3}{a} = \text{_____} = \text{_____}.$$

Теоретическое определение перемещений.  
Расчетная схема. Эпюры изгибающих и крутящих моментов





$$v^T =$$



$$u^T =$$

$$\varphi^T =$$

Сравнение теоретических и экспериментальных результатов:

$$\delta_v = \frac{v^T - v^Э}{v^T} \cdot 100\% = \underline{\hspace{2cm}} \cdot 100\% = \underline{\hspace{1cm}} \%$$

$$\delta_u = \frac{u^T - u^Э}{u^T} \cdot 100\% = \underline{\hspace{2cm}} \cdot 100\% = \underline{\hspace{1cm}} \%$$

$$\delta_\varphi = \frac{\varphi^T - \varphi^Э}{\varphi^T} \cdot 100\% = \underline{\hspace{2cm}} \cdot 100\% = \underline{\hspace{1cm}} \%$$

Работа выполнена «  »    20   г.

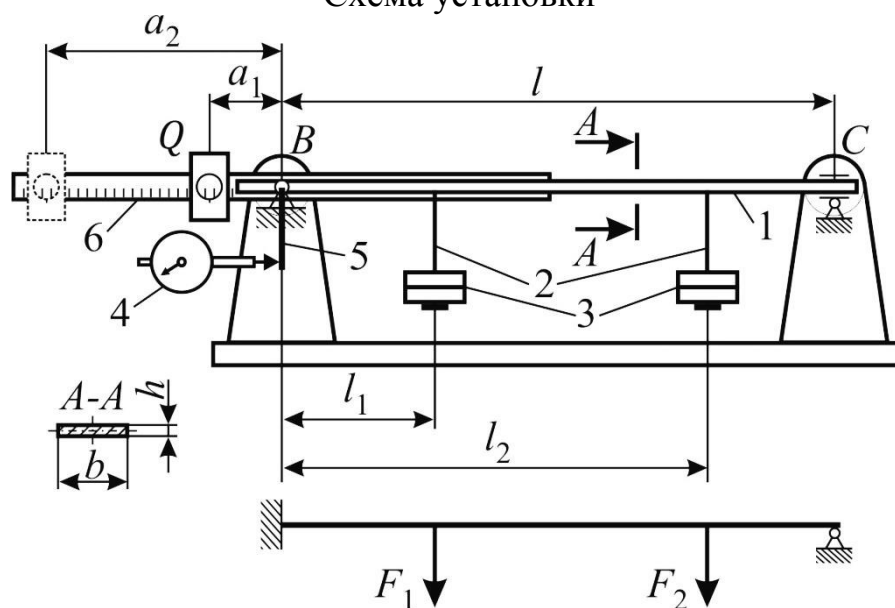
## Работа 17

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА РАСЧЁТА СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫХ СТЕРЖНЕВЫХ СИСТЕМ МЕТОДОМ СИЛ

Цель работы:

#### А. Определение опорного момента в статически неопределимой балке

Схема установки



1 – балка, 2 – подвески для грузов, 3 – грузы,  
4 – индикатор часового типа, 5 – рычаг, 6 – рычаг  
противовеса

Исходные данные:

Размеры поперечного сечения балки  $b =$  мм,  $h =$  мм.

Длина балки  $l =$  мм.

Расстояния до точек приложения нагрузки  $l_1 =$  мм,  $l_2 =$  мм.

Величина нагрузки  $F_1 =$  кгс,  $F_2 =$  кгс.

Вес груза на рычаге противовеса  $Q =$  кгс.

Начальное положение груза на рычаге противовеса  $a_1 =$  мм.

Теоретический расчет величины опорного момента  
(раскрытие статической неопределенности методом сил)

Результат теоретического расчета

$$M_B^T = \quad \text{кгс} \cdot \text{мм} = \quad \text{н} \cdot \text{м}.$$

## Экспериментальное определение величины опорного момента

Положение груза на рычаге противовеса при действии нагрузок  $F_1$  и  $F_2$ , при котором показания индикатора часового типа совпадают с начальными его показаниями:

$$a_2 = \quad \text{мм.}$$

Величина момента в опоре  $B$ :

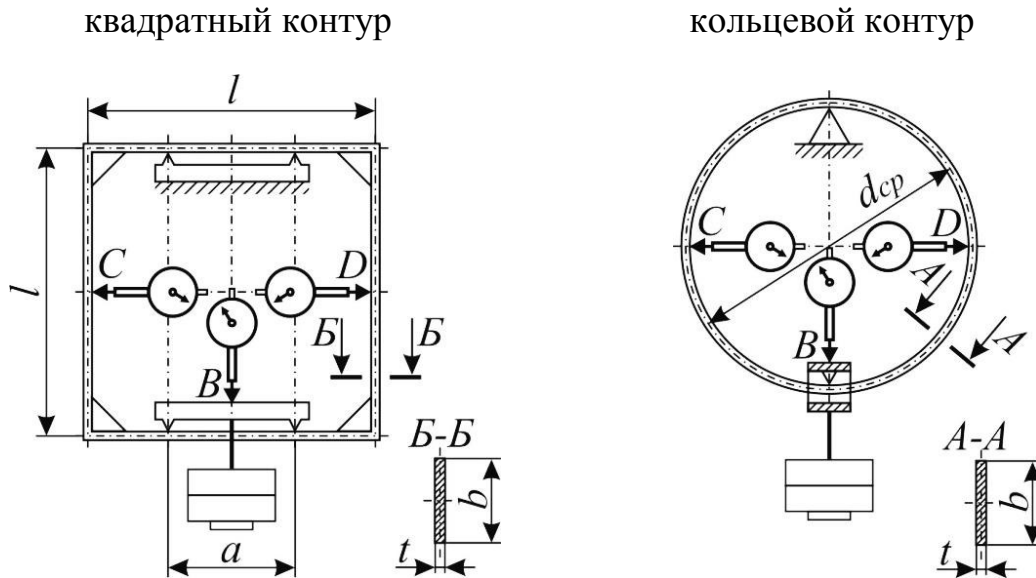
$$M_B^э = Q(a_2 - a_1) = \quad = \quad \text{кгс} \cdot \text{мм} = \quad \text{Н} \cdot \text{м.}$$

Сравнение теоретического и экспериментального результатов:

$$\delta = \frac{M_B^т - M_B^э}{M_B^т} \cdot 100\% = \frac{\quad}{\quad} \cdot 100\% = \quad \%$$

## Б. Определение перемещений в замкнутом статически неопределимом контуре

Схема установки



Исходные данные: материал рамы –  $E = \quad$  кгс/мм<sup>2</sup>.

Размеры поперечного сечения  $b = \quad$  мм,  $t = \quad$  мм.

Размеры квадратного контура  $l = \quad$  мм,  $a = \quad$  мм.

Диаметр кольцевого контура  $d_{cp} = \quad$  мм.

Величина нагрузки:

предварительная  $F_0 = \quad$  кгс, основная  $F = \quad$  кгс.



Теоретический расчет перемещений в раме:  
вертикального перемещения точки  $B$  и взаимного  
горизонтального перемещения точек  $C$  и  $D$   
(раскрытие статической неопределимости методом сил)

Результаты теоретического расчета:

$$\Delta_B^T = \quad \text{мм}, \quad \Delta_{CD}^T = \quad \text{мм}.$$

Экспериментальное определение перемещений в раме

Таблица показаний индикаторов

| № опыта           | Нагрузка, кгс | Показания индикаторов, мм |            |                     |            |                     |            |
|-------------------|---------------|---------------------------|------------|---------------------|------------|---------------------|------------|
|                   |               | <i>B</i>                  | $\Delta B$ | <i>C</i>            | $\Delta C$ | <i>D</i>            | $\Delta D$ |
| 1                 | $F_0 =$       |                           |            |                     |            |                     |            |
|                   | $F_0 + F =$   |                           |            |                     |            |                     |            |
| 2                 | $F_0 =$       |                           |            |                     |            |                     |            |
|                   | $F_0 + F =$   |                           |            |                     |            |                     |            |
| 3                 | $F_0 =$       |                           |            |                     |            |                     |            |
|                   | $F_0 + F =$   |                           |            |                     |            |                     |            |
| Средние значения: |               | $\Delta B_{cp}^3 =$       |            | $\Delta C_{cp}^3 =$ |            | $\Delta D_{cp}^3 =$ |            |

Примечание: во избежание путаницы со знаками в столбцах  $\Delta B$ ,  $\Delta C$  и  $\Delta D$  рекомендуется указывать абсолютное значение изменения показаний индикаторов *B*, *C* и *D*.

Экспериментальные результаты:

$$\Delta_B^3 = \Delta B_{cp}^3 = \quad \text{мм}, \quad \Delta_{CD}^3 = \Delta C_{cp}^3 + \Delta D_{cp}^3 = \quad \text{мм}.$$

Сравнение теоретического и экспериментального результатов:

$$\delta_B = \frac{\Delta_B^T - \Delta_B^3}{\Delta_B^T} \cdot 100\% = \frac{\quad}{\quad} \cdot 100\% = \quad ,$$

$$\delta_{CD} = \frac{\Delta_{CD}^T - \Delta_{CD}^3}{\Delta_{CD}^T} \cdot 100\% = \frac{\quad}{\quad} \cdot 100\% = \quad .$$

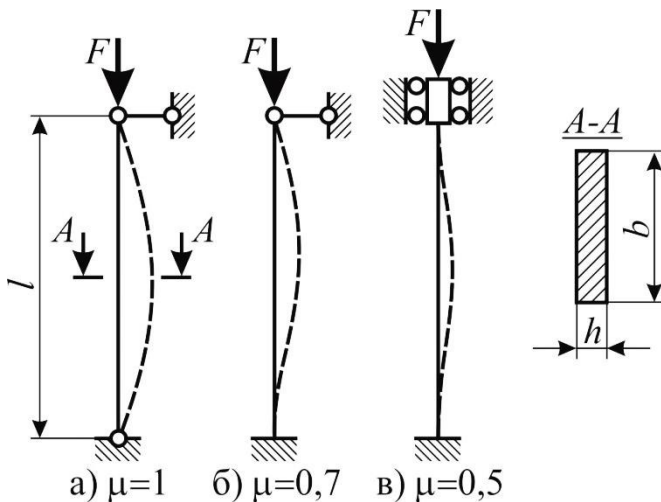
Работа выполнена «      »      20      г.

## Работа 18

### УСТОЙЧИВОСТЬ СЖАТЫХ СТЕРЖНЕЙ

Цель работы:

Схема закрепления концов стержня



Исходные данные:

Материал стержня –

Модуль упругости при растяжении  
 $E =$  кгс/мм<sup>2</sup> ( МПа),

предел пропорциональности

$\sigma_{\text{пц}} =$  кгс/мм<sup>2</sup> ( МПа).

Размеры поперечного сечения:

$b =$  мм,  $h =$  мм.

Длина стержня  $l =$  мм.

Наименьший момент инерции поперечного сечения и радиус инерции:

$$I_{\min} = \frac{bh^3}{12} = \text{---} = \text{---} \text{ мм}^4, \quad i_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{bh}} = \text{---} = \text{---} \text{ мм.}$$

Предельная гибкость материала стержня:

$$\lambda_{\text{пред}} = \sqrt{\frac{\pi^2 E}{\sigma_{\text{пц}}}} = \text{---} = \text{---} .$$

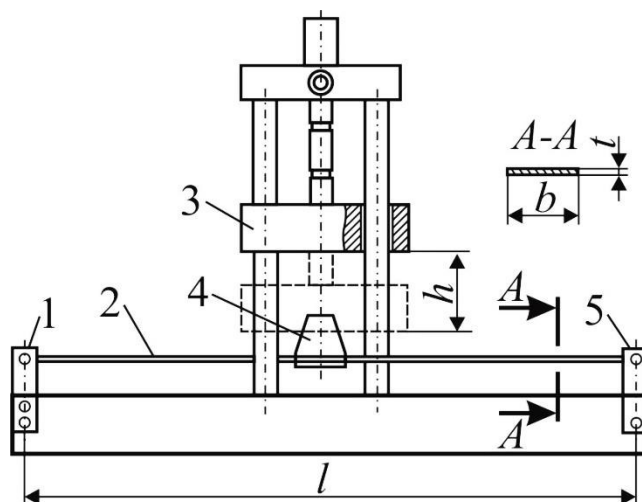
| Способ закрепления:   | а) | б) | в) |
|---|----|----|----|
| Коэффициент приведения длины стержня $\mu$  |    |    |    |
| Расчетная гибкость стержня $\lambda = \mu l / i_{\min}$   |    |    |    |
| Теоретическое значение критической силы<br>$F_{\text{кр}}^{\text{т}} = \frac{\pi^2 E I_{\min}}{(\mu l)^2}$ , кгс        |    |    |    |
| Экспериментальная величина критической силы $F_{\text{кр}}^{\text{э}}$ , кгс  |    |    |    |
| Расхождение $\delta = \frac{F_{\text{кр}}^{\text{т}} - F_{\text{кр}}^{\text{э}}}{F_{\text{кр}}^{\text{т}}} \cdot 100\%$ |    |    |    |

Работа выполнена « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

## Работа 19 ДЕФОРМАЦИИ ПРИ УДАРЕ

Цель работы:

Схема установки



1 и 5 – опоры, 2 – гибкая стальная балка,  
3 – груз, 4 – конический штырь

Исходные данные:

Размеры поперечного сечения балки  $b =$  мм,  $t =$  мм.

Материал балки – сталь, модуль упругости при растяжении  $E =$  МПа.

Длина балки  $l =$  мм, масса балки  $m_B =$  кг.

Масса груза  $m =$  кг, масса конического штыря  $m_{шт} =$  кг.

Коэффициент приведения массы балки  $\alpha =$  .

Высота падения груза (три значения):  $h =$  мм, мм, мм.

### Теоретический расчет коэффициента динамичности

Единичная эпюра изгибающего  
момента в балке  $ЭM_1$

Грузовая эпюра изгибающего  
момента в балке  $ЭM_p$

Осей момент инерции поперечного сечения балки:

$$I_x = \frac{bt^3}{12} = \frac{\quad}{\quad} = \quad \text{мм}^4 = \quad \text{м}^4.$$

Статический прогиб балки под действием веса груза:

$$f_{\text{ст}}^T = \Delta M_1 \times \Delta M_p =$$

Теоретический коэффициент динамичности

| $k_D^T = 1 + \sqrt{1 + \frac{2h}{f_{\text{ст}}^T} \cdot \frac{m}{m + m_{\text{шт}} + \alpha m_B}}$ | Результаты расчета            |         |
|--|-------------------------------|---------|
|  | Высота падения груза $h$ , мм | $k_D^T$ |
|  |                               |         |
|  |                               |         |
|  |                               |         |

Экспериментальное определение коэффициента динамичности

| № опыта | $h$ , мм | Экспериментальное значение      |                                  |   |
|---------|----------|---------------------------------|----------------------------------|---|
|         |          | $f_{\text{ст}}^{\text{э}}$ , мм | $f_{\text{дин}}^{\text{э}}$ , мм | $k_D^{\text{э}} = f_{\text{дин}}^{\text{э}} / f_{\text{ст}}^{\text{э}}$ |
|         |          |                                 |                                  |   |
|         |          |                                 |                                  |   |
|         |          |                                 |                                  |   |

График зависимости между высотой падения груза и коэффициентом динамичности теоретическим (сплошная линия) и экспериментальным (штриховая линия)

|       |  |  |  |  |  |  |  |
|-------|--|--|--|--|--|--|--|
| $k_D$ |  |  |  |  |  |  |  |
|       |  |  |  |  |  |  |  |
|       |  |  |  |  |  |  |  |

$h$ , мм

Работа выполнена «    »    20    г.

Лист отметок о выполнении лабораторных работ

| Дата | Название лабораторной работы | Подпись преподавателя |
|------|------------------------------|-----------------------|
|      |                              |                       |
|      |                              |                       |
|      |                              |                       |
|      |                              |                       |
|      |                              |                       |
|      |                              |                       |
|      |                              |                       |
|      |                              |                       |
|      |                              |                       |
|      |                              |                       |
|      |                              |                       |
|      |                              |                       |
|      |                              |                       |
|      |                              |                       |
|      |                              |                       |
|      |                              |                       |
|      |                              |                       |
|      |                              |                       |
|      |                              |                       |
|      |                              |                       |
|      |                              |                       |
|      |                              |                       |
|      |                              |                       |
|      |                              |                       |
|      |                              |                       |
|      |                              |                       |
|      |                              |                       |
|      |                              |                       |
|      |                              |                       |
|      |                              |                       |
|      |                              |                       |
|      |                              |                       |
|      |                              |                       |
|      |                              |                       |
|      |                              |                       |
|      |                              |                       |

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|   |    |
|---|----|
| ПОРЯДОК РАБОТЫ В ЛАБОРАТОРИИ СОПРОТИВЛЕНИЯ<br>МАТЕРИАЛОВ.....   | 3  |
| Работа 1. ИСПЫТАНИЕ НА РАСТЯЖЕНИЕ.....  | 4  |
| Работа 2. ИСПЫТАНИЕ НА СЖАТИЕ.....  | 8  |
| Работа 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УПРУГИХ ХАРАКТЕРИСТИК<br>МАТЕРИАЛА ПРИ РАСТЯЖЕНИИ.....                                    | 10 |
| Работа 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ СДВИГА.....  | 14 |
| Работа 5. ИСПЫТАНИЕ НА СКРУЧИВАНИЕ ДО РАЗРУШЕНИЯ.....   | 16 |
| Работа 6. ИСПЫТАНИЕ НА СРЕЗ.....  | 17 |
| Работа 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЁРДОСТИ.....  | 18 |
| Работа 8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДАРНОЙ ВЯЗКОСТИ.....   | 20 |
| Работа 9. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА КОНЦЕНТРАЦИИ<br>НАПРЯЖЕНИЙ.....  | 21 |
| Работа 10. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ИЗГИБЕ БАЛКИ.....   | 23 |
| Работа 11. ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ПРИ КОСОМ ИЗГИБЕ.....  | 27 |
| Работа 12. НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ВНЕЦЕНТРЕННОМ СЖАТИИ ИЛИ<br>РАСТЯЖЕНИИ СТЕРЖНЯ БОЛЬШОЙ ЖЁСТКОСТИ.....                 | 30 |
| Работа 13. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕНТРА ИЗГИБА ТОНКОСТЕННОГО<br>НЕЗАМКНУТОГО ПРОФИЛЯ.....                                 | 33 |
| Работа 14. ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЁННОГО СОСТОЯНИЯ В<br>ТОНКОСТЕННОЙ ТРУБЕ ПРИ СЛОЖНОМ<br>НАГРУЖЕНИИ.....           | 35 |
| Работа 15. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ПРИ ИЗГИБЕ БАЛКИ.<br>ИЛЛЮСТРАЦИЯ ТЕОРЕМЫ О ВЗАИМНОСТИ РАБОТ.....             | 39 |
| Работа 16. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ В ПРОСТРАНСТВЕН-<br>НОЙ РАМЕ.....  | 43 |
| Работа 17. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ПРОВЕРКА РАСЧЁТА<br>СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫХ СТЕРЖНЕВЫХ<br>СИСТЕМ МЕТОДОМ СИЛ..... | 46 |
| Работа 18. УСТОЙЧИВОСТЬ СЖАТЫХ СТЕРЖНЕЙ.....  | 52 |
| Работа 19. ДЕФОРМАЦИИ ПРИ УДАРЕ.....  | 53 |
| Лист отметок о выполнении лабораторных работ.....   | 55 |