

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**ТАШКЕНТСКИЙ ХИМИКО–ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

---

**КАФЕДРА «Машины и аппараты пищевой  
промышленности - основы механики»**

## **ОТЧЕТ**

**по лабораторным работам по предмету  
“Прикладная механика”**

**I ЧАСТЬ**

Выполнил: \_\_\_\_\_

Принял: \_\_\_\_\_

**Ташкент – 2017 г.**

Данное методическое пособие к лабораторным работам по Прикладной механике содержит в себе 5-ть лабораторных работ.

Лабораторным занятиям по курсу «Прикладная механика» отводится важная роль. Они способствуют усвоению основ предмета в наглядной и запоминающейся форме, знакомят студентов с важнейшими механическими свойствами материалов, дают возможность изучить приводы машин и аппаратов, а также ознакомиться с основными конструкциями зубчатых колес (цилиндрическими и коническими), конструкциями подшипников качения. Кроме того, учат постановке и проведению экспериментов, что очень важно для развития научно-исследовательской работы студентов в связи с новым курсом высшей школы, направленным на усиление самостоятельной работы студентов.

Пособие предназначено для студентов высших технических учебных заведений.

Составители: Инагамов И.Ш., Муминов Ш.В.

Рецензент: проф. А.А. Ризаев

Методическое пособие обсуждено и одобрено на заседание кафедры «Основы механики и инженерной графики»

Протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 2017 г.

Заведующий кафедрой

доц. Сафаров Т.Т.

Данное методическое пособие обсуждено и одобрено научно – методическим советом факультета «Технология пищевых продуктов» ТХТИ

Протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 2017 г.

Председатель

научно – методического совета

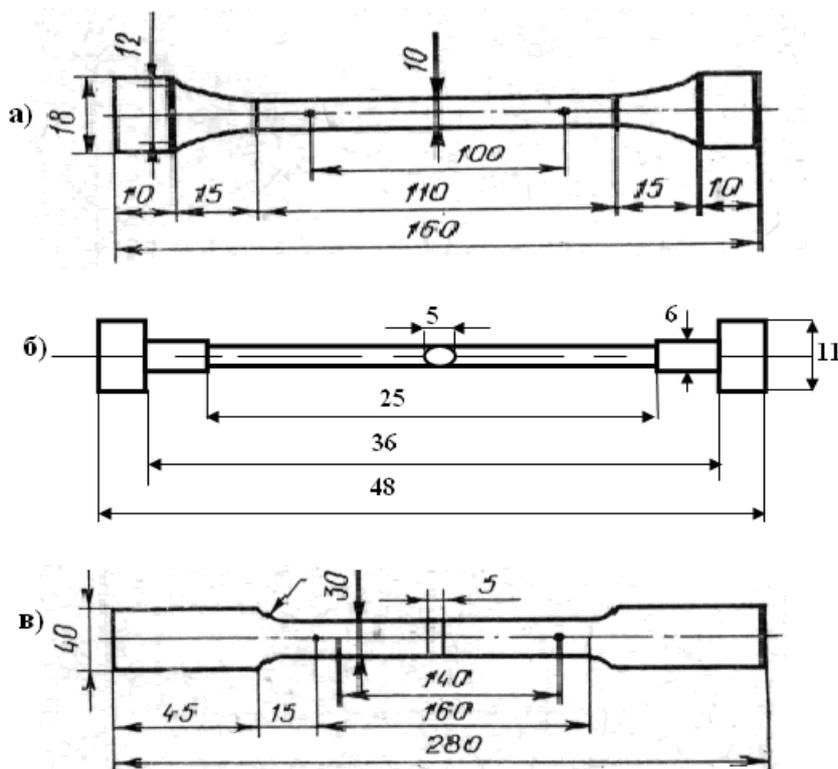
доц. Юнусов О.Қ.

# 1-ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

## ИСПЫТАНИЕ ПЛАСТИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА РАСТЯЖЕНИЕ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ

- Цель работы:**
1. Исследовать процесс растяжения металлического образца вплоть до разрыва;
  2. Определить механические характеристики материала.

**Общие сведения:** Для испытания материала на растяжение изготавливаются стандартные металлические образцы, которые большей частью вытачиваются из прутковых заготовок или вырезаются из листа. Стандартный металлический образец имеет вид:



**Рис. 1**

- 1) образец с круглым поперечным сечением (рис. 1 а, б)
- 2) образец с некруглым поперечным сечением (рис. 1 в)

Образцы по размеру бывают:

- а) нормальный образец (рис. 1 а);
- б) малый образец (рис. 1 б).

Размер нормального образца:  $l=10 d$ , где  $d$ - диаметр образца,  $l$  – расчетная длина. При диаметре  $d=2 \text{ см}=20 \text{ мм}$  образец называется нормальным.

Обозначив через « $F$ » площадь поперечного сечения образца получим следующие соотношения:

$$d = \sqrt{\frac{4F}{\pi}} = 1,13\sqrt{F}; \text{ и } l = 11,3\sqrt{F}.$$

Размер образца с некруглым поперечным сечением:

1. ширина стандартного образца прямоугольного сечения втрое больше его толщины;

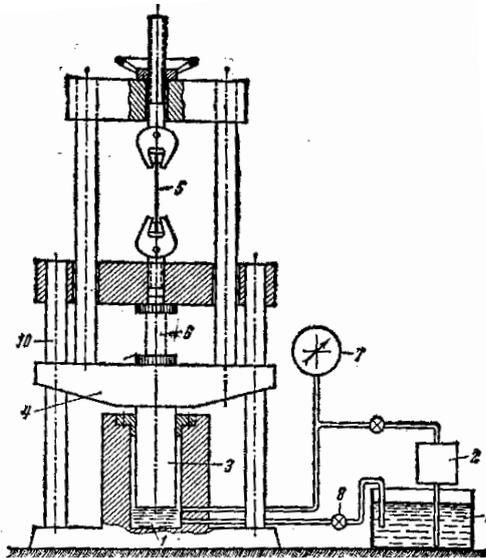
2. расчетная длина «*l*» принимается равной:  $l_p = 11,3\sqrt{F}$ .

Испытательная машина сообщает образцу принудительное удлинение и регистрирует сопротивление образца, т.е. нагрузку соответствующую этому удлинению; результат опыта представляется диаграммой растяжения.

### Схема гидравлической испытательной машины универсального типа и принцип работы

В большинстве современных испытательных машин силовозбудителем является цилиндр, в который под давлением нагнетается масло.

Приведем общий вид схемы универсальной гидравлической машины. (рис.2)



**Рис. 2**

В рабочую полость цилиндра 1 при помощи насоса 2 под давлением подаётся масло и плунжер 3 поднимается. На плунжере установлена рама 4, в верхней части которой имеется захват для образца 5, испытываемого на растяжение. В случае испытания на сжатие образец устанавливается на нижнюю часть рамы. Образец, испытываемый на сжатие, отмечен цифрой 6; рама 10 неподвижна. Усилие измеряется манометром 7, проградуированным в единицах силы, приходящейся на образец. По окончании испытания масло под действием веса рамы 4 вытесняется через винтель 8 обратно в масляную ванну 9.

Мощность испытательных машин колеблется в пределах от нескольких граммов до сотни тонн. Машины малой мощности (до 1 тонны) выполняются обычно как рычажные. Для больших мощностей используются гидравлические машины.

## ДИАГРАММА РАСТЯЖЕНИЯ



График зависимости нагрузки от удлинения полученный на испытательной машине.

Зона OA- зона упругости, т.е. материал подчиняется закону Гука.

$$\Delta l = \frac{P \cdot l}{EF}; \quad \sigma = \frac{P}{F}. \quad (1)$$

Зона АВ – зона общей текучести, здесь происходят существенные изменения длины образца без заметного увеличения нагрузки. Напряжение на этой зоне определяется выражением:

$$\sigma_T = \frac{P_T}{F}. \quad (2)$$

Механически текучесть объясняется взаимными сдвигами частиц материала. На поверхности отполированного образца можно через лупу видеть косые штрих-линии сдвигов. Эти линии называются линиями Чернова-Людерса. Большинство их наклонено к образующей образца под углом  $50^\circ$ , что приблизительно соответствует положению площадок наибольших касательных напряжений.

Высокоуглеродистые и другие стали большой прочности, не дают площадки текучести. Предел текучести для этих сталей и других материалов принимается условно соответствующим напряжению, при котором остаточное удлинение образца составляет 0,2 % или 0,5% его длины, обозначают его « $\sigma_{02}$ » и « $\sigma_{03}$ ».

После стадии текучести материал вновь начинает сопротивляться возрастающей нагрузке наступает так называемая стадия упрочнения.

Условное напряжение, получаемое как частное от деления максимальной наблюдаемой при опыте нагрузки ( $P_{\max}$ ) на первоначальную площадь поперечного сечения образца ( $F$ ), называется временным сопротивлением или пределом прочности материала и обозначается через " $\sigma_\sigma$ ":

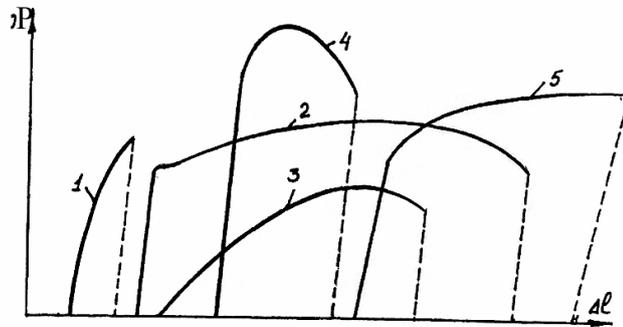
$$\sigma_\sigma = \frac{P_{\max}}{F}. \quad (3)$$

При максимальной нагрузке в образце начинает образовываться местное сужение поперечного сечения-шейка, вследствие чего сопротивление образца быстро уменьшается и кривая идет вниз. К моменту разрыва истинное напряжение в шейке имеет наибольшее значение:

$$\sigma_p = \frac{P_p}{F_0}, \quad \text{где } F_0 \text{ — площадь шейки.}$$

На рис.4 приведена диаграмма растяжения для различных материалов

- 1- для чугуна;
- 2- для малоуглеродистой стали;
- 3- для меди;
- 4- для прокатной стали;
- 5- для бронзы.



**Рис 3.**

### **Пластические характеристики материала**

Способность материала получать большие остаточные деформации, не разрушаясь, носит название пластичности. Свойства пластичности имеет решающее значение для таких технологических операций, как штамповка, вытяжка, гибка и другие. Мерой пластичности является удлинение « $\delta$ » при разрыве.

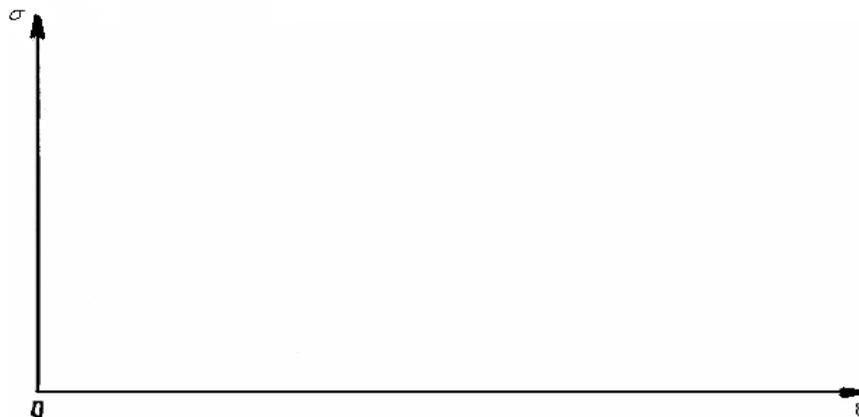
$$\delta = \frac{\Delta l}{l_p} \cdot 100\% = \frac{l_p - l}{l} \cdot 100\%,$$

где  $l_p$  — длина расчетный после разрушения образца.

Для относительного сужения « $\psi$ » имеем:  $\psi = \frac{F - F_0}{F} \cdot 100\%$ .

### **Истинная диаграмма растяжения.**

Диаграмма растяжения, построенная с учетом уменьшения площади « $F$ » и местного увеличения деформации, называется истинной диаграммой растяжения.



$$\sigma_{ocm} = \frac{P_D}{F_{uu}};$$

Действительную остаточную деформацию можно определить из условия равенства объемов материала до и после испытания. Вблизи места разрыва единица длины образца имеет до испытания объем  $F$ , а после разрыва -  $F_{uu} (1+E_{ocm})$ .

Тогда  $F = F_{uu} (1+E_{ocm})$ , откуда  $E_{ocm} = \frac{F}{F_{uu}} - 1$ .

Абсцисса точки  $D'$  будет равна  $\varepsilon_{D'} = \frac{F}{F_{uu}} - 1 + \frac{\sigma_{ocm}}{E}$

### Порядок проведения лабораторной работы

#### 1) Цель работы

В журнале лабораторных работ результаты описанного опыта записываются по форме, показанной в таблицах 1 и 2. Кроме того, в этом же журнале производят следующие записи:

#### 2) Размеры образца

**Таблица 1.**

До испытания			После разрыва		
$l_p$	$d$	$F = \frac{\pi d^2}{4}$	$l_{p_1}$	$d_1$	$F_1 = \frac{\pi d_1^2}{4}$

#### 3) Соппротивление образца в кг

**Таблица 2.**

При текучести - $P_T$	Наибольшие $P_{max}$	В момент разрыва $P_{раз}$

3) Полное удлинение расчетной части образца  $\Delta l = (см)$ ;

4) Работа, затраченная на растяжение расчетной части образца:

$$A_{расч} = P_{max} \cdot \Delta l_{рас} \cdot \gamma = (кг \cdot см).$$

5) Полученные характеристики:

Предел пропорциональности  $\sigma_n = \frac{P_n}{F} = \dots\dots\dots (кг/см^2)$ ;

Предел текучести:  $\sigma_m = \frac{P_m}{F} = \dots\dots\dots (кг/см^2)$ ;

Предел прочности:  $\sigma_{np} = \frac{P_{np}}{F} = \dots\dots\dots (кг/см^2)$ ;

При разрыве:  $\sigma_p = \frac{P_{раз}}{F_{uu}} = \dots\dots\dots (кг/см^2)$ ;

- 6) Относительное сужение:  $\psi = \frac{F - F_{\text{из}}}{F} \cdot 100\%$
- 7) Относительное удлинение:  $\delta = \frac{\Delta l}{l} \cdot 100\%$
- 8) Удельная работа  $a = \frac{A_{\text{раз}}}{l \cdot F} = \dots\dots (\text{кДж/см}^2)$

где  $l \cdot F = V_0$ .

- 9) Напряжение при разрушении и полная деформация:

$$\sigma_p = \frac{P_p}{F_{\text{из}}} = \dots\dots (\text{Н/м}^2)$$

$$\varepsilon_{\text{ист}} = \frac{F}{F_{\text{из}}} - 1;$$

$$\varepsilon_n = \varepsilon_{\text{ист}} + \frac{\sigma_{\text{ист}}}{E}.$$

- 10) Построение диаграммы  $p = f(\Delta l)$ .

- 11) В пределах малых удлинений для большинства материалов справедлив закон Гука

$$\sigma = \varepsilon E, \quad (3)$$

где  $\sigma$  - нормальное механическое напряжение;  $\varepsilon$  - относительная деформация,  $E$  - модуль упругости (Юнга).

Учитывая, что  $\sigma = \frac{P}{F}$  и  $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$ , определяем значение « $E$ »

$$E = \frac{Pl}{\Delta l \cdot F}, \quad \text{здесь } F \text{ - площадь}$$

### Контрольные вопросы:

1. Как определяется предел пропорциональности, предел упругости, предел прочности и предел текучести?
2. Объясните, в результате каких процессов происходящих в металле появляется площадка текучести?
3. Что характеризует относительное удлинение образцов и относительное сужение площади поперечного сечения?
4. Какие свойства материала характеризуют площадь диаграммы  $\sigma = f(\varepsilon)$ ?
5. Что такое явление «наклёп»?

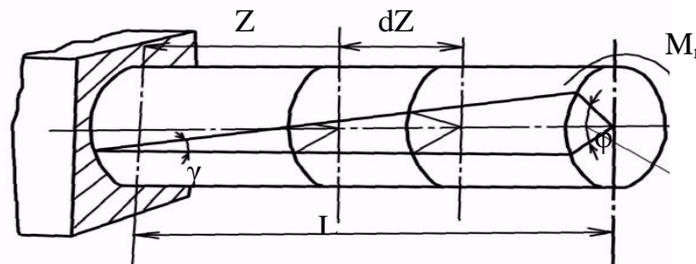
## 2 - ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

### ИСПЫТАНИЕ СТАЛЬНОГО ОБРАЗЦА С КРУГЛЫМ ПОПЕРЕЧНЫМ СЕЧЕНИЕМ НА КРУЧЕНИЕ

**Цель работы:** Определение модуля упругости второго рода при чистом сдвиге.

**Общие сведения:** Изучение зависимости между нагрузкой и деформацией стержня.

На рисунке 1 показан брус длиной  $l$ , нагруженный крутящим моментом  $M_k = \text{const}$ .



**Рис. 1**

Угол закручивания стержня в пределах упругих деформаций связан с нагрузкой, т.е. с крутящим моментом линейной зависимостью. Для бруса с круглым поперечным сечением угол закручивания определяется по формуле:

$$\varphi = \frac{M_k \cdot l}{GJ_p}, \quad (1)$$

Где  $l$  – длина бруса, [м],  $M_k$  – крутящий момент [н·м],

$G$  – модуль упругости материала при сдвиге  $G_T = 8 \cdot 10^5$  [н/м<sup>2</sup>],

$J_p$  – полярный момент инерции площади поперечного сечения бруса, [м<sup>4</sup>].

для сплошного сечения:  $J_p = \frac{\pi d^4}{32}$ ,

для полого вала:  $J_p = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32}$ ,

где  $d$  – диаметр сечения,  $D$  – внешний диаметр.

Модуль упругости при сдвиге « $G$ » определяется по формуле:

$$G = \frac{\Delta M_k \cdot l}{\Delta \varphi_{cp} \cdot J_p}, \quad (2)$$

где  $\Delta M_k$  – приращение крутящего момента,

$\Delta \varphi_{cp}$  – среднее приращение угла закручивания образца на степень нагрузки  $\Delta M_k$ ,

$l$  – длина образца (база, на которой измеряется угол закручивания).

Характерный вид диаграммы кручения круглого образца из малоуглеродистой стали.



Согласно ГОСТу 3565 – 58, для испытаний металлов на кручение применяют образцы круглого поперечного сечения диаметром рабочей части 20мм и расчетной длиной 100 и 50 мм. Если применяют образцы других размеров, об этом делают запись и указывают действительные размеры. В лабораторной работе (учебного плана) размеры образцов могут определяться требованиями демонстративности опыта,

мощностью и конструктивной особенностях испытательной машины.

### Испытательная установка

Для испытания образцов на кручение применяется машина типа 2014 МК – 50. В опытах при испытании образцов на кручение измеряются крутящий момент ( $M_K$ ) и угол закручивания. Для измерения крутящего момента, используется электронный моментоизмеритель. Его показания фиксируются стрелочным индикатором на лицевой стороне машины. Для измерения угла закручивания образца испытательная машина снабжена специальным, счетчиком для замера угла закручивания. Обычно цена деления этого счетчика составляет  $1^\circ$ , что является слишком грубым для испытаний металлических образцов в упругой стадии. Поэтому для более точного определения значения угла закручивания применяется механический угломер на базе индикатора часового типа с ценой деления 0,01мм (рис.3).

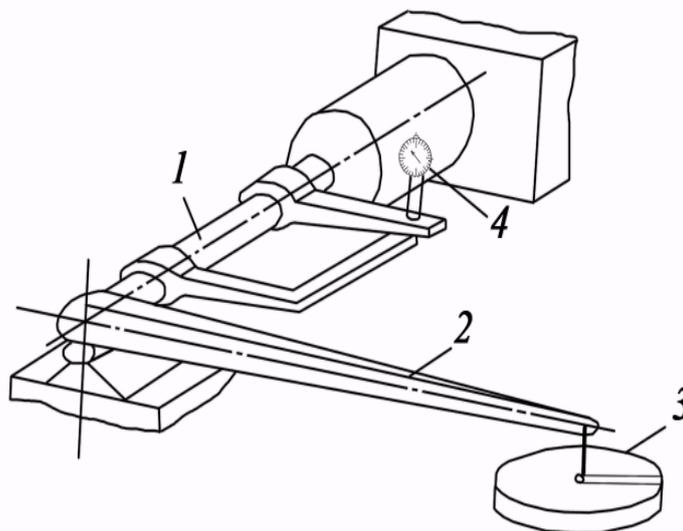


Рис. 3

1 - образец; 2 – рычаг; 3 – гири; 4 – индикатор.

Между линейным перемещением и угловым перемещением образца имеется прямопропорциональная зависимость, т.е.

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta h}{R} K_u \quad [\text{рад.}] \quad (3)$$

где  $\Delta h$  - приращение показаний индикатора (в мм.),

$R$  – Расстояние от оси симметрии, до оси образца (в мм.),

$\Delta\varphi$  - приращение угла закручивания.

### Порядок проведения лабораторной работы:

1. Закрепить образец в захватах испытательной установки.
2. Привести стрелку индикатора на «0».
3. Повесить на крюк гирю весом 50 Н, т.е. образцу сообщают крутящий момент  $M_k = P \cdot a = 22,5 \text{ Нм}$ , а показания индикатора заносим в таблицу 1.

Среднее значение приращений определяется по формуле:

$$\Delta M_{cp} = \quad \quad \quad \text{Н} \cdot \text{м};$$

4. Ввести расчет по полученным данным опыта

$$\Delta h_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta h_i =$$

где  $n$  – ступень нагружения.

5. Приращение угла закручивания образца

$$\Delta\varphi_{cp} = K_u \frac{\Delta h_{cp}}{R} = \quad \quad \quad [\text{рад}],$$

где  $K_u$  – цена одного деления индикатора,  $K_u = 1 \cdot 10^{-2}$ ,  $l = 100 \text{ мм}$ ,  $d = 16 \text{ мм}$ ,  $D = 20 \text{ мм}$ .  $a = 450 \text{ мм}$ ,  $R = 60 \text{ мм}$ ,  $G_T = 8 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

Используя полученные значение  $\Delta M_{cp} = 22,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$  и значения  $\Delta\varphi_{cp}$  определяем значение «G» по формуле (2)

$$G_0 = \frac{\Delta M_{cp} \cdot l}{\Delta\varphi_{cp} \cdot J_p} =$$

6. Сравнительный анализ табличного значения « $G_m$ » с опытным значением

« $G_0$ » производится по формуле:  $\Delta G\% = \frac{[G_T - G_0]}{G_T} \cdot 100\% =$

для полого вала:

$$J_p = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32} =$$

Степень нагрузки	Нагружение образца			Показания индикатора	
	Вес груза $P, Н$	Значение крутящего момента $M_{кз} = P \cdot a$	Приращение кру-го м-та $\Delta M_{кр} (Н \cdot м)$	Показание $h$	Приращение $\Delta h$
0					
1					
2					
3					
4					

### Вопросы для самоподготовки:

1. Что называется крутящим моментом?
2. Укажите связь между модулем сдвига, ( $G$ ) с модулем упругости первого рода ( $E$ ).
3. Напишите значение полярного момента инерции для бруса с круглым поперечным сечением и полого бруса.
4. Объяснить устройство индикатора и принцип его работы.
5. Как определяется угол закручивания?
6. Какие характеристики материала определялись при испытаниях на кручение?
7. Какие получены расхождения между экспериментальными данными и теоретическими расчетами? Укажите причины этих расхождений.

### 3 - ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИНЕЙНЫХ И УГЛОВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ПРИ ИЗГИБЕ БАЛКИ.

**Цель работы:** а) Получить опытным путем величины прогиба посередине пролета балки и угла поворота одного из опорных сечений.

б) Полученные данные опытным путем, сравнить со значением, полученным теоретическим путём.

**Общие сведения:** Существует несколько методов определения перемещений в балках постоянного сечения, т.е.:

#### 1. Схема испытательной установки

Исследование работы балки на изгиб производится на балках прямоугольного сечения (рис. 1), материалом является сталь.

Для определения прогибов и углов поворота используют индикатор часового типа с ценой деления 0,01 мм. Нагружение балки осуществляется силой  $P$ , через специальную траверсу, с помощью испытательной установки.

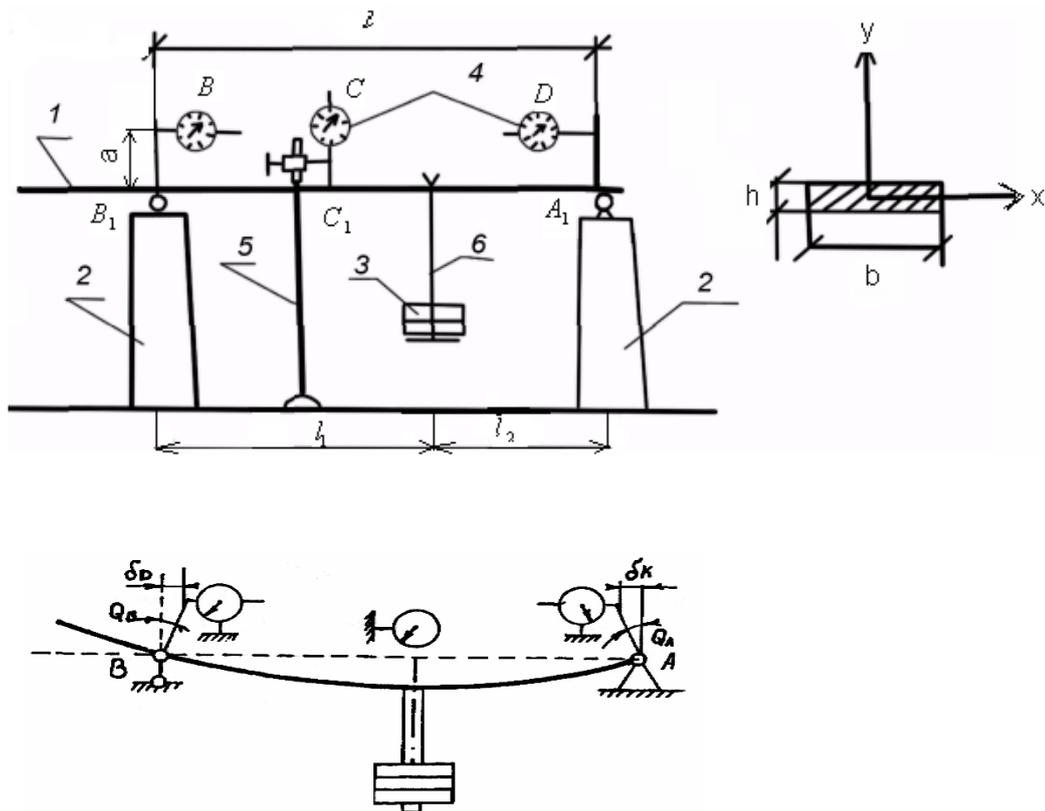


Рис 1.

1-балка, 2- опора, 3- гири, 4- индикаторы, 5-кронштейн, 6-крючок

## Порядок выполнения работы:

1. Установить балку на опорном столе испытательной установки, при этом устанавливаются индикаторы для замера перемещений.
2. Выполнять операции по подготовке испытательной установки к работе (согласно инструкции к установке).
3. Провести испытание путем ступенчатого нагружения балки и снять отсчеты по индикаторам. Данные записываются в таблицу журнала испытаний.
4. После достижения максимальной для данного опыта нагрузки (в пределах линейно-упругой работы материала) балка разгружается.

## Обработка результатов опыта:

1. Подсчитываются приращения показаний индикатора прогибов и индикатора угломера для каждой ступени нагрузки ( $\Delta p$ ). Приращение прогиба на каждой ступени нагрузки получаются в миллиметрах, т.е. в единице длины, и поэтому непосредственно используются для дальнейшей обработки. Для получения приращений угла поворота торцевого сечения балки, нужно полученные приращения показаний индикатора угломера разделить на базу измерения угла  $l = 250$  мм. Для индикатора «с» приращения.

$$\Delta c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta C_i,$$

где  $n$  - количество ступеней нагружения.

Линейное перемещение сечений  $C \cdot \Delta Y_c^{cp}$ , здесь  $\Delta Y_c^{cp} = K_u \cdot \Delta C$ , а значит  $Y_c^{max} = \Delta Y_c^{cp}$ , где  $K_u$  – цена деления индикатора.

Теперь определяем углы поворота в опорных сечениях балки т.е. «К» и «Д».

Для определения угла поворота этих сечений, надо определить линейное перемещение точки ( $\delta b_k$ ;  $\delta_D$ ):

$$\delta_k = a \cdot tg Q_A, \quad \delta_D = a \cdot tg Q_B,$$

а учитывая некоторые ограничения а именно, что  $tg Q_A = Q_A$  и  $tg Q_B = Q_B$ ; можно, получить следующие отношения:

$$Q_A = \frac{\delta_k}{a}; \quad Q_B = \frac{\delta_D}{a};$$
$$\Delta Q_A^{cp} = K_{ин} \cdot \frac{\Delta K_{cp}}{a}; \quad \Delta Q_B^{cp} = K_{ин} \cdot \frac{\Delta D_{cp}}{a};$$

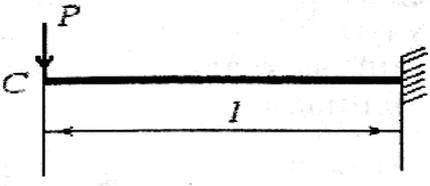
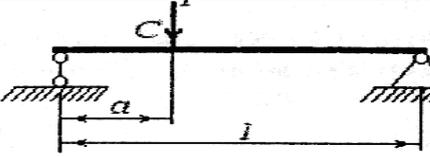
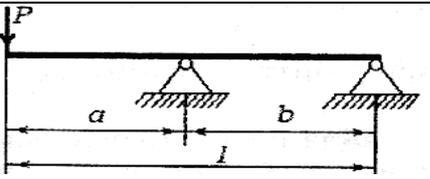
Аналогичным образом получим, что

$$Q_A^{оп} = \Delta Q_A^{cp} \quad \text{и} \quad Q_B^{оп} = \Delta Q_B^{cp}.$$

Полученные значения приращений прогиба и углов поворота заносятся в вертикальные колонки приращений табл. 2.

Ниже приведем формулы линейных и угловых перемещений при различных видах нагружения балок силой «P» (табл.1).

Таблица 1.

№ п/п	Схема нагружения образца	Перемещение характерных сечений	
		Линейное перемещение	Угловое перемещение
1.		$y_c = \frac{PC^3}{3EJ_X}$	$Q_C = \frac{Pe^2}{2EJ_X}$
2		$y_c = \frac{Pa^2}{3EJ_X \cdot l} (l-a)^2$	$Q_A = \frac{Pa(l-a)(l+a)}{6EJ_X \cdot l};$ $Q_B = \frac{Pa(l-a)(2l+a)}{6EJ_X \cdot l};$
3		$y_c = \frac{Pa^2(l-a)^2}{3Ej_X \cdot l}$	$Q_A = \frac{Pa(l-a)}{6EJ_X};$ $Q_B = \frac{Pa(l-a)}{3EJ_X};$

2. Вычисляются теоретические значения прогиба и угла поворота сечения в зависимости от степени нагрузки. Для их получения можно использовать любой известный метод определения перемещений при изгибе балок;

3. Опытные и теоретические величины перемещений заносятся в соответствующие графы таблицы 2 и далее подсчитываются расхождения полученных результатов (в процентах);

4. Построить диаграммы изменения прогибов и углов поворота балки при увеличении нагрузки.

**Таблица 2.**

Количество ступеней нагружения	Нагрузка		1 – индикатор		2 – индикатор		3 – индикатор	
	№	Вес груза $P$ (Н)	Приращен ия нагрузки $\Delta P$	Показа ния $C$	Прира щения $\Delta C$	Показа ния $B$	Прираще ния $\Delta B$	Показа ния $D$
Среднее приращений								

**Контрольные вопросы:**

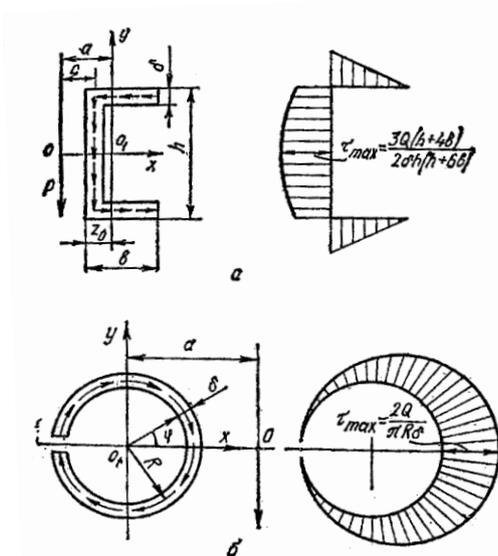
1. В чем заключается проверка балки на жесткость при изгибе?
2. Сформулируйте основные допущения, лежащие в основе теоретических методов определения перемещений при изгибе.
3. Назовите основные методы определения перемещений при изгибе балки и изложите их сущность.
4. Дайте характеристику испытательной установки и расскажите об установке, на которых производились испытания.

## 4 - ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ЦЕНТРА ИЗГИБА ОТКРЫТОГО ПРОФИЛЯ

**Цель работы:** 1). Определение центра изгиба тонкостенного открытого профиля опытным путем; 2). Определение центра изгиба тонкостенной балки открытого профиля теоретическим путем и сопоставление экспериментальных и теоретических данных.

**Теоретическая часть:** При определении прочности тонкостенной балки открытого профиля, в отличие от бруса сплошного сечения, существенное значение приобретают величины и законы распределения касательных напряжений.



На рис. 1а,б показана прокатная балка из швеллера и эпюра касательного напряжения. Здесь  $h$  – высота сечений балки,  $b$  – ширина сечений балки,  $Z_0$  – расстояние от центра тяжести до вертикальной стенки,  $C$  – расстояние от центра изгиба до средней линии стенки и

равно: 
$$C = \frac{3b^2}{h + 6b},$$

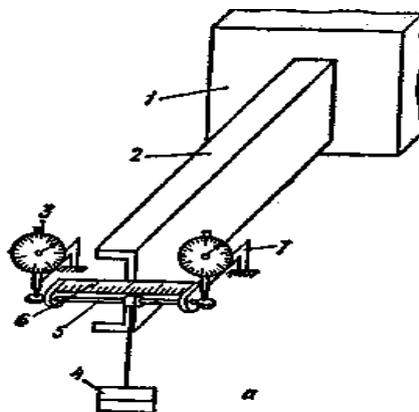
**Рис.1 а,б** где  $a$  – расстояние от центра изгиба до центра тяжести сечений.

Можно записать:

$$a = \frac{3b^2}{h + 6b} + Z_0 - \frac{\delta}{2}$$

где  $\delta$  - толщина стенки балки.

Схема установки испытательного механизма СМ - 12 показана на рис.3:



**Рис. 3**

Консольная балка 2 жестко закреплена к стойке, на свободном конце которой установлен крючок нагружаемый силой (гирей) 4.

Для изменения положения груза 4, установлена направляющая 5 и линейка 6. Для измерения деформаций установлен индикатор 3 на кронштейне 7. Материал балки - Сталь 45; высота сечения  $h = \dots$ , ширина  $b = \dots$ , ширина стенки  $\delta = \dots$ , модуль упругости  $E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ .  $Z_0 = 6 \text{ мм}$

### Порядок проведения опыта:

1) Приведем установку гирь к центру тяжести, а показания индикатора приводим к нулю.

2) Начинаем грузить балку силой 10 Н. Если в этом случае показания индикаторов будут разными, значит возникает деформация кручения. По направляющим передвигаем нагрузку до выравнивания показаний обоих индикаторов. Эта точка относительно которой момент касательных сил в сечении при поперечном изгибе равен нулю называется центром изгиба.

3) Определяем координаты центра изгиба теоретическим путем и сравниваем с опытным. Схождение определяется следующей формулой

$$\delta_a = \frac{a_T - a_{ОП}}{a_T} \cdot 100\% ,$$

где  $a_T$  - значение центра изгиба определенное теоретическим путём,

$a_{ОП}$  - значение центра изгиба определенное опытным путем.

### Контрольные вопросы:

1. Какие деформации возникают в поперечных сечениях балки открытого профиля при изгибе?
2. Почему при изгибе таких балок центр изгиба не совпадает с центром тяжести сечений?
3. Что называется центром изгиба?
4. Как определяется центр изгиба теоретическим путем?
5. Объясните принцип парности при касательных напряжениях?
6. Как определяется центр изгиба опытным путем?
7. Объясните формулу Журавского.

## 5 - ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПОРНЫХ СИЛ РЕАКЦИЙ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫХ БАЛОК ОПОТНЫМ ПУТЕМ

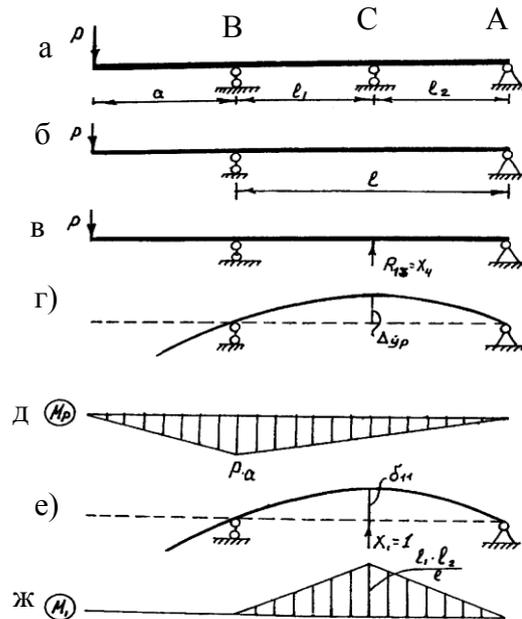
**Цель работы:** Определение опорных сил реакций статически неопределимой балки опытным путем и сравнение их с теоретическими данными.

Имеется несколько методов определения сил реакций статически неопределимых балок:

1. Метод начальных параметров;
2. Метод уравнений трех моментов;
3. Метод сил.

Наиболее широко применяемым в машиностроении общим методом раскрытия статической неопределимости стержневых и рамных систем является «метод сил».

На рисунке 1 изображена один раз статически неопределимая балка которая используется для проведения опыта. Надо определить методом сил опорную силу реакции  $R_c$



**Рис. 1**

а) Степень статически неопределимости системы определяется по формуле:

$$S = n - m,$$

где  $S$  – степень статически неопределимости системы,

$n$  – число сил реакций,

$m$  – количества уравнений статики в плоскости.

Для нашего случая:

$$S = 4 - 3 = 1.$$

б) Выбор основной системы.

При определении усилий в статически неопределимой системе необходимо составлять дополнительные уравнения – уравнения деформаций. Для этого прежде всего следует превратить заданную статически неопределимую систему в статически определимую, устранив из нее лишние связи. Полученная система называется основной системой.

в) Получить эквивалентную систему. К основной системе кроме заданной нагрузки необходимо приложить реакции устраненных связей, тогда и деформации и **возникающие в ней внутренние усилия** будут такими же, как и в заданной системе, т. е. обе эти системы станут совершенно эквивалентными.

г) Составляем каноническое уравнение по методу сил:

$$\delta_{11} \cdot x_1 + \Delta_{1P} = 0,$$

где  $\delta_{11}$  - линейное перемещение опоры «с» по направлению единичной силы  $x_1$ ,

$\Delta_{1P}$  - линейное перемещение опоры «с» по направлению  $x_1$  от внешней нагрузки «P»; линейные перемещения  $\delta_{11}$  и  $\Delta_{1P}$  определяются методом Верещагина. Для этого строятся эпюры изгибающих моментов от единичных и внешних сил (**рис 1, д, ж**).

$$\begin{aligned} \delta_{11} &= (\overline{M}_1; \overline{M}_p) = \frac{1}{EJ} \sum_{i=1}^n \omega_i \cdot \eta_i^0 = \frac{1}{EJ} \cdot \frac{l_1 \cdot l_2}{l} \cdot \frac{l_1}{2} \cdot \frac{2l_1 l_2}{3l} + \\ &+ \frac{1}{EJ} \cdot \frac{l_1 l_2}{l} \cdot \frac{l_2}{l} \cdot \frac{2l_1 l_2}{3l} = \frac{(l_1 \cdot l_2 l)^2}{13EJ}, \\ \Delta_{1P} &= \Delta(\overline{M}_1; M_p) = \frac{1}{EJ} \sum_{i=1}^n \omega_{pi} \cdot \eta_i^0 = \\ &= \frac{1}{EJ} \cdot \frac{l_1 l_2}{l} \cdot \frac{l_1}{2} \cdot \frac{P_4(l + 2l_2)}{3l} - \frac{1}{EJ} \cdot \frac{l_1 l_2}{l} \cdot \frac{l_2}{l} \cdot \frac{2Pal_2}{3l} = \frac{Pa(l + l_2)l_1 \cdot l_2}{61EJ}, \end{aligned}$$

где  $\omega_i$  - площадь эпюры изгибающего момента единичной силы;

$\omega_{pi}$  - площадь эпюры изгибающего момента внешней силы;

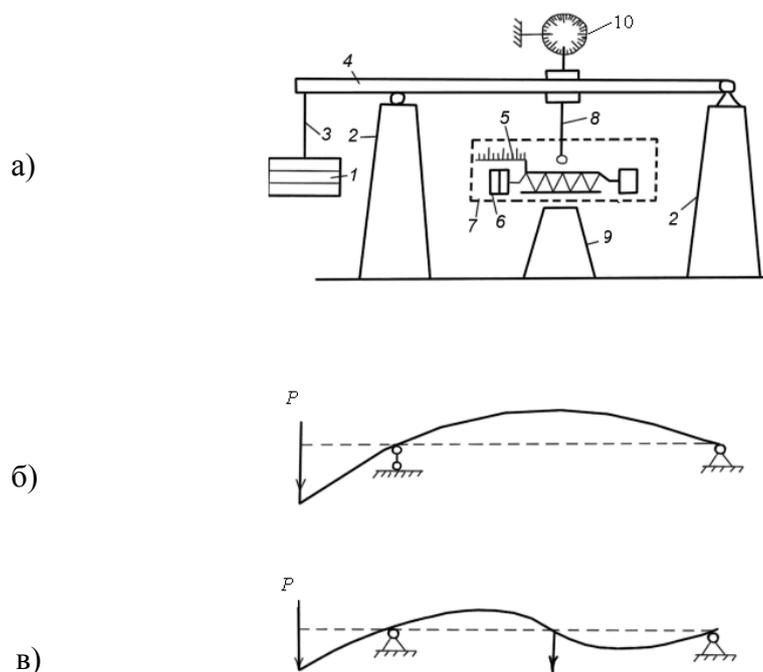
$\eta_i^0$  - ординаты в эпюре от единичной силы, соответствующей центру тяжести эпюры от внешней силы;

$n$  – количество участков.

По найденным значениям « $\delta_{11}$ » и  $\Delta_{1P}$  определяем теоретические значения сил реакций в опоре «с».

$$R_c = X_1 = \frac{a(l_1 + l_2)}{2l_1 \cdot l_2} \cdot P$$

4. Схема установки для проведения опыта показана на рис. 2.



**Рис. 2**

1-грузы; 2-стойки опоров; 3,8-крючки; 4-балка; 5-линейка; 6-специальное грузовое приспособление; 7-опора; 9-линейная стойка; 10-индикатор.

**Порядок проведения опыта:**

1. Образец устанавливается на крайние опоры, посередине опор устанавливается специальное грузовое приспособление 6, имеющее грузы  $Q_1$  и  $Q_2$ , которые уравниваются. Вес, нужные размеры и величины заносятся в журнал испытаний.

2. До загрузки образца, берутся показания индикатора; берётся « $U_0$ » и заносится в таблицу.

3. Крючок 3 загружают грузом равным  $P=20\text{ Н}$  (рис.2), а по индикатору берётся значение « $U_1$ », записывающееся в таблицу 1.

4. Не снимая груз « $P$ » стрелку индикатора 12 приводят к первоначальному значению « $U_0$ », для этого грузы  $Q_1$  и  $Q_2$  раздвигаем на расстояние « $Z$ ». После такой операции система станет статически неопределимой (рис. 2б).

5. После определения значения « $Z$ » показания индикатора заносятся в таблицу 1.

**Таблица 1.**

№ п/п	Нагрузка $P(\text{Н})$	Приращение нагрузки $\Delta P(\text{Н})$	Показания индикатора		Примечания
			$U$	$\Delta U$	
1					Статически определяемая балка
2					
3					Статически

4					неопределимая балка
---	--	--	--	--	---------------------

Расчет необходимо произвести по полученным опытным данным, причем сила реакции « $R_c$ » определяется следующим образом:

$$R_c^{III} = P_{оп} Z,$$

где  $P_{оп}$  – значение одного деления линейки;  
 $Z$  – количество делений шкалы линейки.

По индикаторным данным можно определить линейное перемещение сечений « $C$ » в зависимости от сил « $P$ »:

$$\Delta_{ip}^{оп} = K_u - \text{значение одного деления шкалы индикатора.}$$

$\Delta U$  - соответствующее приращение показания индикатора при  $\Delta P = 20 \text{ Н}$ .

Теоретический расчет производится по формуле

$$R_c = \frac{a(l_1 + l_2)}{2 \cdot l_1 \cdot l_2} P =$$

а зависимость перемещения от силы « $P$ » определяется формулой:

$$\Delta_{ip} = \frac{P a l_1 \cdot l_2 (l_1 + l_2)}{61 E J} =$$

5) Анализ полученных данных.

	Опорная реакция	Линейное перемещение
	$R_c$	$\Delta_{ip}$
Опытный метод		
Теоретический метод		
Погрешность		

### Контрольные вопросы:

1. Что такое статически определимые и статически неопределимые балки?
2. Каким образом получают основную и эквивалентную систему?
3. Объясните геометрический смысл канонического уравнения в методе сил.
4. Составьте канонического уравнения для два раза статически неопределимой системы и объясните перемещения  $\delta_{ij}$  и  $\Delta_{ip}$ .
5. Расскажите порядок проведения опыта.



