

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Л.Н. Пичугова, А.П. Наземцев

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО СОПРОТИВЛЕНИЮ МАТЕРИАЛОВ

Студент_____

Группа_____

20____/20____учебный год

Севастополь
2018

УДК 620.10(076.5)

ББК 30.121я7

П 36

Пичугова Л.Н., Наземцев А.П.

П 36 Лабораторные работы по сопротивлению материалов. –
Севастополь: СевГУ, 2018. – 56 с., ил.

© ФГАОУВО «Севастопольский
государственный университет, 2018

ИНСТРУКЦИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ В ЛАБОРАТОРИИ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

Перед началом работы необходимо ознакомиться с устройством машин, приборов и помнить следующее:

1. Категорически запрещается прикасаться к токоведущим частям испытательных машин и приборов.
2. Если корпус машин (приборов) оказался под напряжением, их необходимо немедленно выключить и доложить об этом преподавателю или лаборанту.
3. Необходимо выполнять только ту работу, которая поручена, и при условии, что известны безопасные способы ее выполнения.
4. Если при включении машины слышно гудение электромотора, необходимо немедленно выключить машину и доложить преподавателю или лаборанту.
5. Категорически запрещается класть на испытательные машины инструменты, образцы и другие предметы.

С настоящей инструкцией ознакомился:

Подпись студента _____

Методические указания к выполнению лабораторных работ

1. Каждый студент к началу лабораторной работы должен проработать контрольные вопросы и рекомендуемую литературу.
2. Все расчеты, которые необходимо производить при оформлении лабораторной работы, выполняются с помощью калькулятора.
3. Отчет о выполненной лабораторной работе и ее зачет, как правило, должны полностью заканчиваться в часы занятий.
4. При защите отчетов студент должен показать знания основ теории, понимании физической сущности проведенных экспериментов и знакомство как с устройством испытательных машин и приборов, так и с постановкой лабораторных работ.

Перевод механических величин из технической системы единиц в международную

1. Сила F : $1 \text{ кгс} \approx 10 \text{ Н} = 10^{-5} \text{ МН} = 10^{-2} \text{ кН}$.
2. Момент M (или T): $1 \text{ кгс} \cdot \text{м} \approx 10 \text{ Нм}$.
3. Напряжения σ , τ и давление: $1 \text{ кгс/см}^2 \approx 0,1 \text{ МН/м}^2 \text{ (МПа)}$.
4. Удельный вес γ : $1 \text{ г/см}^3 \approx 0,01 \text{ МН/м}^3$.
5. Площадь A : $1 \text{ см}^2 = 10^{-4} \text{ м}^2$.
6. Момент инерции I_x , I_{xy} , I_p : $1 \text{ см}^4 = 10^{-8} \text{ м}^4$.
7. Момент сопротивления W_x , W_p : $1 \text{ см}^3 = 10^{-6} \text{ м}^3$.

Лабораторная работа № 1 **ОПРЕДЕЛЕНИЕ УПРУГИХ ПОСТОЯННЫХ СТАЛИ**

Цель работы: Экспериментально определить модуль упругости и коэффициент Пуассона для стали.

Задание для самостоятельной подготовки к работе
Подготовить ответы на предлагаемые к данной работе вопросы.

Литература

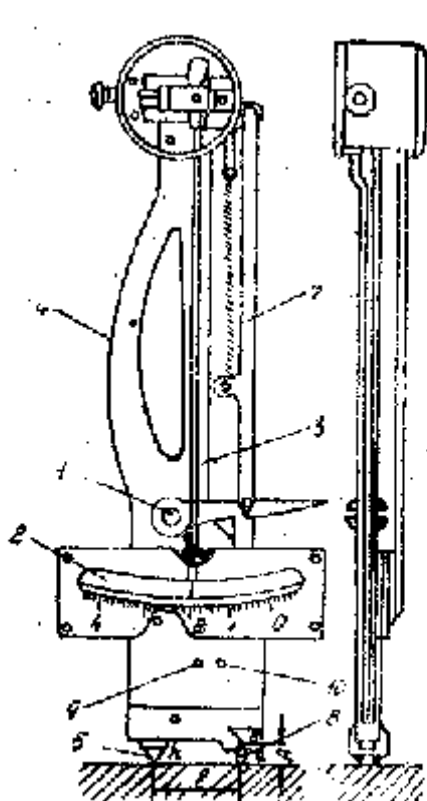
1. Конспект лекций.
2. Степин П. А. Сопротивление материалов. – Москва: Лань, 2010 - 320 с.
3. Молотников В.Я. Курс сопротивления материалов. – Москва: Лань, 2016. <https://e.lanbook.com/book/71756>

1. Подготовка к испытанию

1.1. Испытательная машина и её характеристики:

марка _____
наибольшее создаваемое усилие _____ тс _____ кН
способ создания усилия _____
способ измерения нагрузки на образец _____

1.2. Устройство рычажно-стрелочного механического тензометра:



- 1 – фиксатор рычага и стрелки;
- 2 – шкала;
- 3 – стрелка, фиксирующая показания тензометра;
- 4 – станина;
- 5 – неподвижная опора тензометра;
- 6 – подвижная опора (призма);
- 7 – рычаг, связанный возвратной пружиной с подвижной опорой и стрелкой.

Рис. 1.

1.3. Геометрические характеристики образца:

ширина $b = \underline{\hspace{2cm}}$ см; толщина $t = \underline{\hspace{2cm}}$ см;
 площадь поперечного сечения $A = \underline{\hspace{2cm}}$ см².

1.4. Установка продольного T_1 и поперечного T_2 тензометров на образце (рис. 9).

Основные требования:

- а) растягивающая сила должна быть направлена вдоль оси образца;
- б) тензометр нельзя устанавливать в непосредственной близости от торцов и краев рабочей части образца.

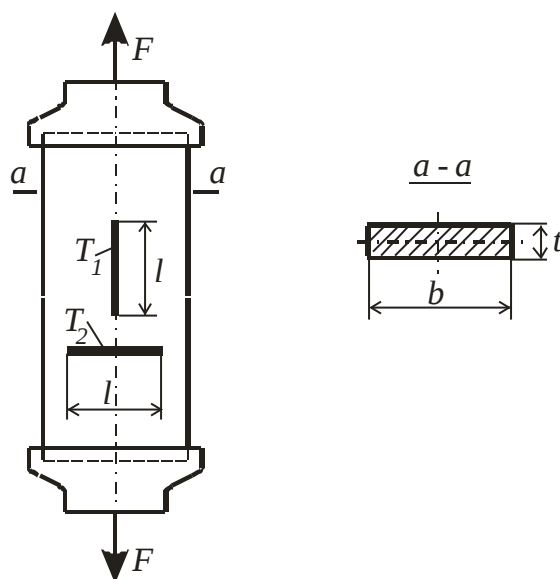
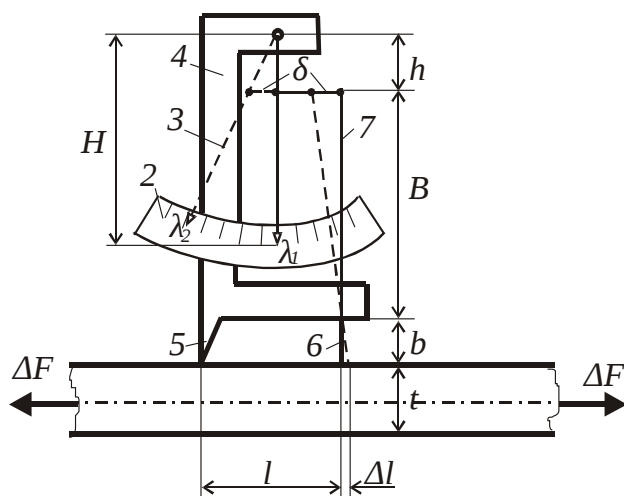


Рис. 2.

1.5. Кинематическая схема рычажного тензометра:



$$\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1; \quad k = \Delta\lambda/\Delta l;$$

$$\Delta\lambda/H = \delta/h; \quad \Delta l/b = \delta/B;$$

$$k = B \cdot H/b \cdot h$$

Рис. 3.

1.6. Параметры рычажного тензомера, используемого в лабораторной работе: база $l = 20\text{мм}$;
коэффициент увеличения $k = 1000$.

1.7. Определение максимальной нагрузки на образец.

По условию прочности действующее в образце напряжение σ не должно превышать предельно допускаемой величины $[\sigma]$: $\sigma = F/A \leq [\sigma]$.

Допускаемое напряжение испытываемой стали $[\sigma] = 1600\text{кгс/см}^2$.

Находим максимальное усилие, которое может быть приложено к образцу: $F_{\max} = [\sigma] \cdot A = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ кгс}$.

2. Результаты наблюдений

2.1. Журнал наблюдений

№№ ступ. нагр.	Нагрузка F , кгс	Степень нагруж., ΔF_i , кгс	Отсчеты по тензомерам			
			вдоль волокон		поперек волокон	
			отсчет λ_1	разность отсчетов $\Delta\lambda_1$	отсчет λ_2	разность отсчетов $\Delta\lambda_2$
0						
1						
2						
3						
Среднее значение $\Delta F =$ _____ кгс			Средняя разность $\Delta\lambda_1 =$ _____ мм		Средняя разность $\Delta\lambda_2 =$ _____ мм	

2.2. Определение модуля упругости E :

а) абсолютное продольное удлинение образца на длине базы тензометра

$$\Delta l_1 = \Delta\lambda_1/k = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ мм}$$

б) относительная продольная деформация

$$\varepsilon_1 = \Delta l_1 / l = \frac{\Delta l_1}{l} = \frac{0.0001}{0.001} = 0.1$$

в) напряжение, соответствующее ступени нагружения $\Delta F =$ _____ кгс,

$$\sigma = \Delta F/A = \quad = \quad \text{KГС/СМ}^2;$$

г) модуль упругости материала

$$E = \sigma/\varepsilon_1 = \quad = \quad \text{кгс/см}^2 = \quad \text{МПа.}$$

2.3. Определение коэффициента Пуассона:

а) абсолютная поперечная деформация образца на длине базы прибора

$$\Delta l_2 = \Delta \lambda_2 / k \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{MM};$$

б) относительная поперечная деформация

$$\varepsilon_2 = \Delta l_2 / l \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ MM};$$

в) коэффициент Пуассона

$$\mu = |\varepsilon_2/\varepsilon_1| = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

3. ВЫВОДЫ

3.1. В результате проделанной работы определены следующие значения упругих постоянных стали:

модуль упругости при растяжении $E =$ _____ кг/см² = _____ МПа;
коэффициент Пуассона $\mu =$ _____

3.2. Модуль упругости при сдвиге зависит от найденных упругих постоянных и определяется следующим образом:

$$G = E/2(1 + \mu) = \frac{200000 \cdot 10^9}{2(1 + 0.3)} = \frac{146153846153.84615}{1} \text{ МПа.}$$

Работу выполнил студент _____
Оценка теоретических знаний _____
Работу проверил _____

« _____ » 20 ____ г.

Контрольные вопросы

1. В чем заключается физический и геометрический смысл модуля упругости?
2. Что представляет собой коэффициент Пуассона?
3. По какой формуле определяется модуль упругости в лабораторной работе?
4. Что такое абсолютное удлинение и абсолютное укорочение?
5. Как определяются нормальные напряжения в поперечном сечении растянутого стержня?
6. Дать определение относительного удлинения.
7. Как называется параметр, являющийся коэффициентом пропорциональности между нормальным напряжением σ и относительной деформацией ε ?
8. Дать определение относительного сужения.
9. Как связан коэффициент Пуассона с относительными изменениями размеров образца в продольном и поперечном направлениях?
10. Описать принцип работы и общее устройство рычажного тензометра.
11. Для какой цели создают предварительную нагрузку на образец?
12. Какими соображениями следует руководствоваться при определении максимальной силы, приложенной при испытании к образцу?
13. Как по показаниям тензометра определить деформацию образца?
14. Для чего необходима центровка образца?
15. Почему рекомендуется устанавливать тензометры с обеих сторон образца?
16. В каких пределах изменяется коэффициент Пуассона?
17. Каким материалам соответствуют крайние значения коэффициента Пуассона?
18. Какое свойство материала характеризует модуль упругости?
19. Какие параметры характеризуют жесткость стержня при растяжении или сжатии?

Лабораторная работа № 2

ИСПЫТАНИЕ МАЛОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ НА РАСТЯЖЕНИЕ

Цель работы: 1. Получить диаграмму напряжений при растяжении.
2. Определить основные механические характеристики стали
3. Ознакомиться с устройством испытательной машины.

Задание для самостоятельной подготовки к работе

Подготовить ответы на предлагаемые к данной работе вопросы.

Литература

1. Конспект лекций.
2. Степин П. А. Сопротивление материалов. – Москва: Лань, 2010 - 320 с.
3. Молотников В.Я. Курс сопротивления материалов. – Москва: Лань, 2016. <https://e.lanbook.com/book/71756>

1. Подготовка к испытанию

1.1. Испытательная машина и её характеристики (рис.1):

марка _____
наибольшее разрывное усилие _____ тс _____ кН
способ создания усилия _____
способ измерения нагрузки на образец _____
масштабы машинной диаграммы:
для нагрузок $m_F =$ _____ кгс/см,
удлинений $m_{\Delta l} =$ _____ см/см.

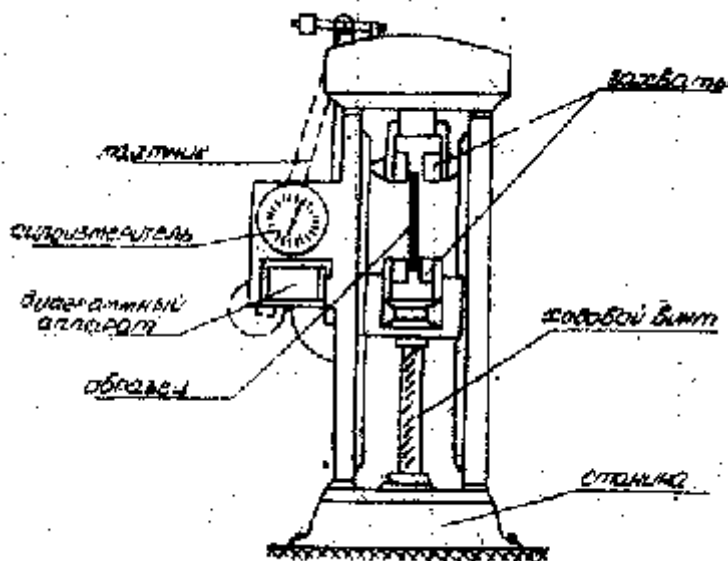


Рис.1.

1.2. Геометрические характеристики образца до испытания:

диаметр $d_o =$ _____ см;

рабочая длина $l_o =$ _____ см;

площадь поперечного сечения $A_o =$ _____ см².

1.3. Вид образца до испытания (пропорциональный цилиндрический образец, тип II, ГОСТ 1497-61)

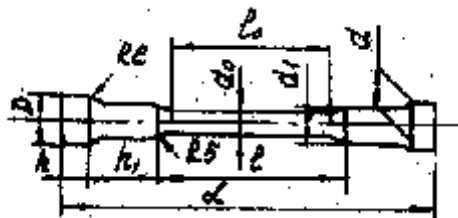


Рис.2.

1.4. Масштабы перехода к напряжениям и и относительным деформациям:

масштаб напряжений $m_\sigma = m_F / A_o =$ _____ кгс/см²·см
_____ МПа/см;

масштаб относительных удлинений $m_\epsilon = 100 \cdot m_{\Delta l} / l_o =$ _____ % / см.

2. Результаты испытаний

2.1. Геометрические характеристики образца после разрыва:

конечный диаметр в районе шейки $d_k =$ _____ см;

конечная длина рабочей части $l_k =$ _____ см;

площадь поперечного сечения шейки $A_{ш} =$ _____ = _____ см².

2.2. Вид образца после испытания

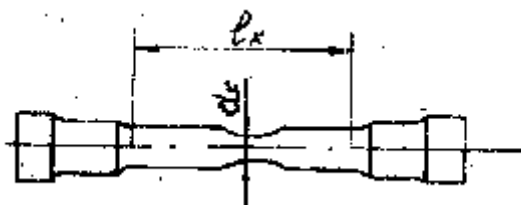


Рис.3.

2.3. Координаты y_i характерных точек машинной диаграммы, соответствующие им усилия $F_i = y_i \cdot m_F$ и напряжения $\sigma_i = y_i \cdot m_\sigma$:

Точка	1	2	3	4
Координата y_i , см	_____	_____	_____	_____
Усилие F_i , кгс				
Напряжение σ_i , МПа				

2.4. Характеристики прочности материала:

1. Предел пропорциональности $\sigma_n = \underline{\hspace{2cm}}$ МПа.
2. Предел текучести $\sigma_T = \underline{\hspace{2cm}}$ МПа.
3. Предел прочности или временное сопротивление растяжению $\sigma_{\sigma} = \underline{\hspace{2cm}}$ МПа.
4. Условное напряжение при разрыве $\sigma_p = \underline{\hspace{2cm}}$ МПа.
5. Истинное напряжение при разрыве $\sigma_{pu} = \underline{\hspace{2cm}}$ МПа.

2.5. Деформация образца на пределе пропорциональности (точка 1) при модуле упругости материала $E = \underline{\hspace{2cm}}$ кгс/см² :

- относительное удлинение $\varepsilon_n = \sigma_n / E = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$;
 абсолютное удлинение $\Delta l_n = \varepsilon_n \cdot l_0 = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$ см;
 отрезок на оси х машинной диаграммы $\Delta l_{n\partial} = \Delta l_n / m_{\Delta l} = \underline{\hspace{2cm}}$ см
 $= \underline{\hspace{2cm}}$ мм.

2.6. Остаточная деформация образца при разрыве:

- абсолютное остаточное удлинение $\Delta l_{ocm} = \underline{\hspace{2cm}}$ см;
 относительное остаточное удлинение $\varepsilon_{ocm} = \Delta l_{ocm} / l_0 = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$;
 отрезок на оси х машинной диаграммы $\Delta l_{ocm\partial} = \Delta l_{ocm} / m_{\Delta l} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$ см.

2.7. Координаты x_i характерных точек машинной диаграммы и соответствующие им относительные удлинения $\varepsilon_i = x_i \cdot m_{\varepsilon}$:

Точка	1	2	3	4
Координата, x_i , см				
Относительное удлинение ε_i , %				

2.8. Характеристики пластичности материала:

1. Относительное остаточное удлинение при разрыве $\delta = 100 \cdot (l_k - l_0) / l_0 = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$ %
2. Относительное остаточное сужение (уменьшение площади поперечного сечения в месте шейки):
 $\psi = 100 \cdot (A_0 - A_w) / A_0 = \underline{\hspace{2cm}}$

2.9. Характеристики вязкости материала:

1. Удельная работа, затраченная машиной на разрыв образца

$$w = 0,01 \eta \cdot \sigma_{\sigma} \cdot \delta = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ МНм/м}^3 ,$$

где $\eta = 0,85$ – коэффициент полноты диаграммы;

2. Полная работа

$$W = w \cdot l_0 \cdot A_0 = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Нм.}$$

2.10. Диаграмма условных напряжений при растяжении стали

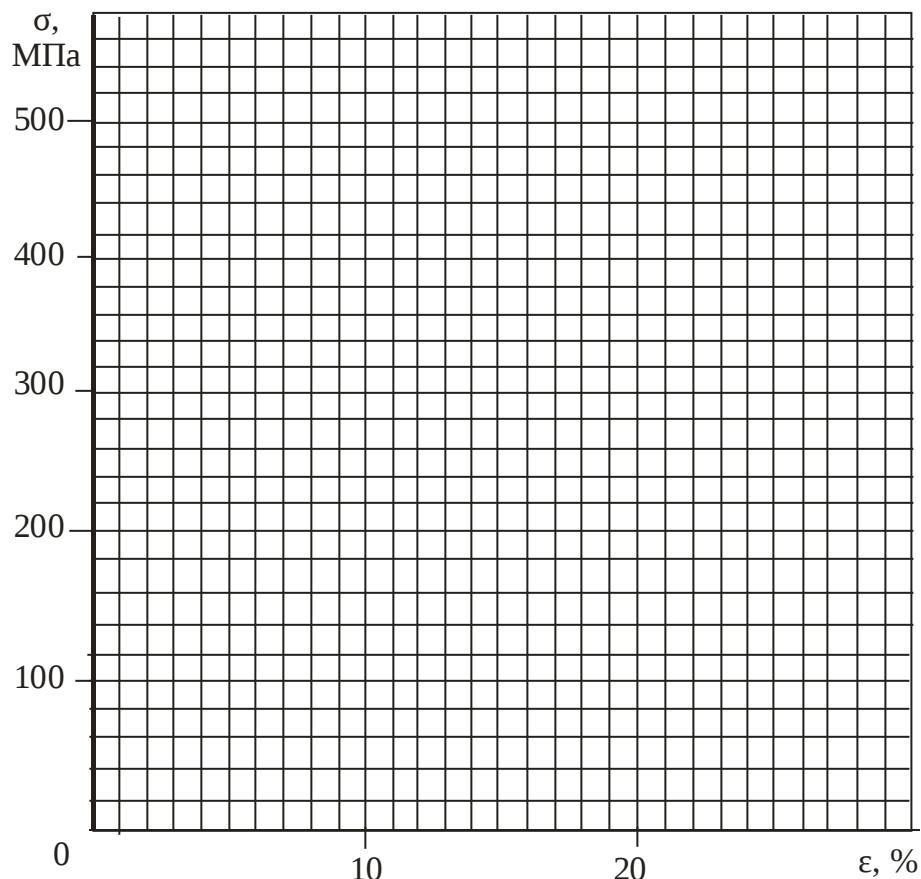


Рис.4.

3. Выводы.

3.1. Какой марке стали ориентировочно соответствует материал образца?

3.2. Какие напряжения являются опасными для данной стали ? Подсчитать коэффициент запаса прочности исследуемой стали, полагая допусковое напряжение $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$.

Работу выполнил студент _____
Оценка теоретических знаний _____
Работу проверил _____

«_____» _____ 20 г.

Контрольные вопросы

1. Какой вид нагружения называют растяжением?
2. По какой формуле определяют нормальные напряжения при растяжении?
3. Записать два вида выражения закона Гука.
4. Каков примерный вид диаграммы условных напряжений для малоуглеродистых и легированных сталей?
5. Какова зависимость для вычисления удельной работы, затрачиваемой на разрыв образца?
6. Какие деформации называют упругими и остаточными?
7. Что такое предел упругости?
8. Что называют пределом пропорциональности?
9. Что называют пределом прочности или временным сопротивлением растяжению?
10. В каких координатах строится машинная диаграмма при растяжении?
11. Что такое относительное остаточное удлинение?
12. Что называют относительным сужением площади поперечного сечения образца при разрыве?
13. В чем состоит сущность явления наклепа?
14. Как построить диаграмму условных напряжений при растяжении по машинной диаграмме?
15. Что называется пределом текучести?
16. На каком участке диаграммы растяжения соблюдается закон Гука?
17. Как зависит деформация образца от силы на пределе текучести?
18. Какой участок диаграммы соответствует стадии вторичного упрочнения?
19. На каком участке диаграммы формируется местное сужение образца?
20. По какому закону распределяются нормальные напряжения в поперечном сечении при растяжении?
21. В каком напряженном состоянии находится материал растянутого стержня?
22. По каким формулам определяются напряжения на наклонном сечении при растяжении?
23. В каких сечениях растянутого стержня возникают максимальные нормальные и касательные напряжения?
24. Каково условие прочности при растяжении?
25. Как определяется коэффициент запаса прочности для пластичных и хрупких материалов?

Лабораторная работа № 3

ИСПЫТАНИЯ НА СЖАТИЕ

- Цель работы:
1. Сопоставить процессы деформирования и разрушения при сжатии различных материалов (пластичных и хрупких, изотропных и анизотропных).
 2. Определить характеристики прочности при сжатии испытываемых материалов.
 3. Получить диаграммы напряжений при сжатии и сравнить механические характеристики материалов.

Задание для самостоятельной подготовки к работе

Необходимо предварительно усвоить основные допущения, принятые в сопротивлении материалов, понятие о сплошном, однородном, изотропном и анизотропном теле.

Литература

1. Конспект лекций.
2. Степин П. А. Сопротивление материалов. – Москва: Лань, 2010 - 320 с.
3. Молотников В.Я. Курс сопротивления материалов. – Москва: Лань, 2016. <https://e.lanbook.com/book/71756>

1. Подготовка к испытаниям

1.1. Испытательная машина и её характеристики:

машина _____;
наибольшее создаваемое усилие _____ тс _____ кН;
способ создания усилия _____;
масштабы машинных диаграмм:
для нагрузок _____ кгс/см _____ Н/см.



рис.1

1.2. Геометрические характеристики образцов (ГОСТ 8817-58, 2055-43):

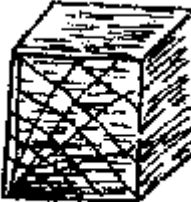
а)  сталь	а) стальной образец диаметр $d_0 =$ _____ см; высота $h_0 =$ _____ см; площадь поперечного сечения $A_0 =$ _____ см²;
б)  чугун	б) чугунный образец диаметр $d_0 =$ _____ см; высота $h_0 =$ _____ см; площадь поперечного сечения $A_0 =$ _____ см²;
в)  дерево	в) деревянный образец (сжатие вдоль волокон) размеры $a =$ _____ см; $b =$ _____ см; высота $h_0 =$ _____ см; площадь поперечного сечения $A_0 =$ _____ см²;
г)  дерево	г) деревянный образец (сжатие поперек волокон) размеры $a =$ _____ см; $b =$ _____ см; высота $h_0 =$ _____ см; площадь поперечного сечения $A_0 =$ _____ см²

Рис.2.

Дерево является естественным композиционным материалом (КМ). В настоящее время широкое применение находят искусственные КМ: боро, - угле, - органо, - стеклопластики и им подобные материалы. Их отличительные особенности – высокая удельная прочность, немагнитность, коррозионная стойкость, легкость ремонта и т.п.

2. Результаты испытаний

2.1. Вид образцов после испытания

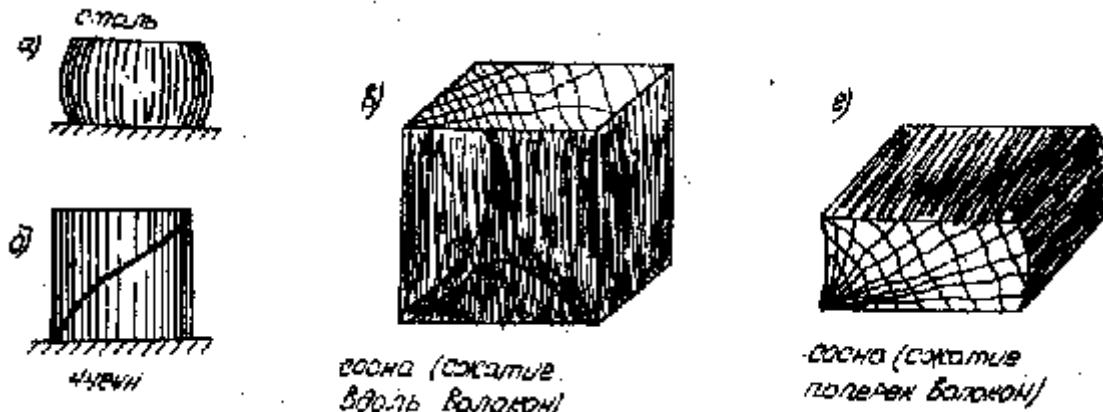


Рис.3.

2.2. Значения сжимающего усилия, напряжения и соответствующие им деформации на различных стадиях нагружения образцов из пластичных материалов.

2.2.1. Размеры и деформация стального образца при испытании:

высота образца на пределе текучести $h_T =$ _____ см;

абсолютная деформация образца на пределе текучести

$$\Delta h_T = h_0 - h_T = \text{_____} \text{ см};$$

относительная деформация $\varepsilon_T = 100 \cdot \Delta h_T / h_0 = \text{_____} = \text{_____} \%$;

диаметр в конце испытания $d_K =$ _____ см:

площадь сечения в конце испытания

$$A_K = \pi d_K^2 / 4 = \text{_____} = \text{_____} \text{ см}^2;$$

высота в конце испытания $h_K =$ _____ см;

абсолютная продольная деформация в конце испытания

$$\Delta h_K = h_0 - h_K = \text{_____} \text{ см};$$

относительная деформация $\varepsilon_K = 100 \cdot \Delta h_K / h_0 = \text{_____} = \text{_____} \%$;

усилие, соответствующее пределу текучести $F_{TC} =$ _____ кгс;

предел текучести при сжатии

$$\sigma_{TC} = F_{TC} / A_0 = \text{_____} = \text{_____} \text{ кгс/см}^2 = \text{_____} \text{ МПа};$$

усилие в конце испытания $F_{KC} =$ _____ кгс;

напряжение в конце испытания

$$\sigma_{KC} = F_{KC} / A_K = \text{_____} = \text{_____} \text{ кгс/см}^2 = \text{_____} \text{ МПа}.$$

2.2.2. Размеры и деформация образца из дерева при испытании на сжатие поперек волокон:

высота образца на пределе текучести $h_T = \underline{\hspace{2cm}}$ см;

абсолютная деформация образца на пределе текучести

$$\Delta h_T = h_0 - h_T \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ см};$$

относительная деформация $\varepsilon_T = 100 \cdot \Delta h_T / h_0 = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \%$;

размеры поперечного сечения в конце испытания:

$$a_K = \underline{\hspace{2cm}} \text{ см}; \quad b_K = \underline{\hspace{2cm}} \text{ см};$$

площадь сечения в конце испытания

$$A_K = a_K \cdot b_K = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ см}^2;$$

высота в конце испытания $h_K = \underline{\hspace{2cm}}$ см;

абсолютная продольная деформация в конце испытания

$$\Delta h_K = h_0 - h_K \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ см};$$

относительная деформация $\varepsilon_K = 100 \cdot \Delta h_K / h_0 = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \%$;

усилие, соответствующее пределу текучести $F_{TC} = \underline{\hspace{2cm}}$ кгс;

предел текучести при сжатии

$$\sigma_{TC} = F_{TC} / A_0 = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ кгс/см}^2 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ МПа};$$

усилие в конце испытания $F_{KC} = \underline{\hspace{2cm}}$ кгс;

напряжение в конце испытания

$$\sigma_{KC} = F_{KC} / A_K = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ кгс/см}^2 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ МПа}.$$

2.2.3. Напряжения и деформации для построения диаграмм сжатия:

2.3. Значения сжимающего усилия, напряжения и соответствующие им деформации на различных стадиях нагружения образцов из хрупких материалов.

Материал	$\sigma_{TC}, \text{МПа}$	$\varepsilon_T, \%$	$\sigma_{KC}, \text{МПа}$	$\varepsilon_K, \%$
Сталь				
Дерево поперек волокон				

2.3.1. Результаты испытания чугунного образца:

максимальное сжимающее усилие $F_{вс} = \underline{\hspace{2cm}}$ кгс;

предел прочности или временное сопротивление сжатию

$$\sigma_{вс} = F_{вс} / A_0 = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ кгс/см}^2 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ МПа};$$

высота образца при разрушении $h_K = \underline{\hspace{2cm}}$ см;

абсолютная продольная деформация при разрушении

$$\Delta h_K = h_0 - h_K = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ см};$$

относительная деформация $\varepsilon_K = 100 \cdot \Delta h_K / h_0 = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \%$;

2.3.2. Результаты испытания дерева вдоль волокон:

максимальное сжимающее усилие $F_{вс} =$ _____ кгс;

предел прочности или временное сопротивление сжатию

$$\sigma_{вс} = F_{вс} / A_0 = \text{_____} = \text{_____} \text{ кг/см}^2 = \text{_____} \text{ МПа};$$

высота образца при разрушении $h_k =$ _____ см;

абсолютная продольная деформация при разрушении

$$\Delta h_k = h_0 - h_k = \text{_____} = \text{_____} \text{ см};$$

относительная деформация $\varepsilon_k = 100 \cdot \Delta h_k / h_0 = \text{_____} = \text{_____} \text{ %};$

2.3.3. Напряжения и деформации для построения диаграмм сжатия:

Материал	$\sigma_{вс}$, МПа	ε_k , %
Чугун		
Дерево вдоль волокон		

2.4. Диаграммы напряжений испытанных материалов:

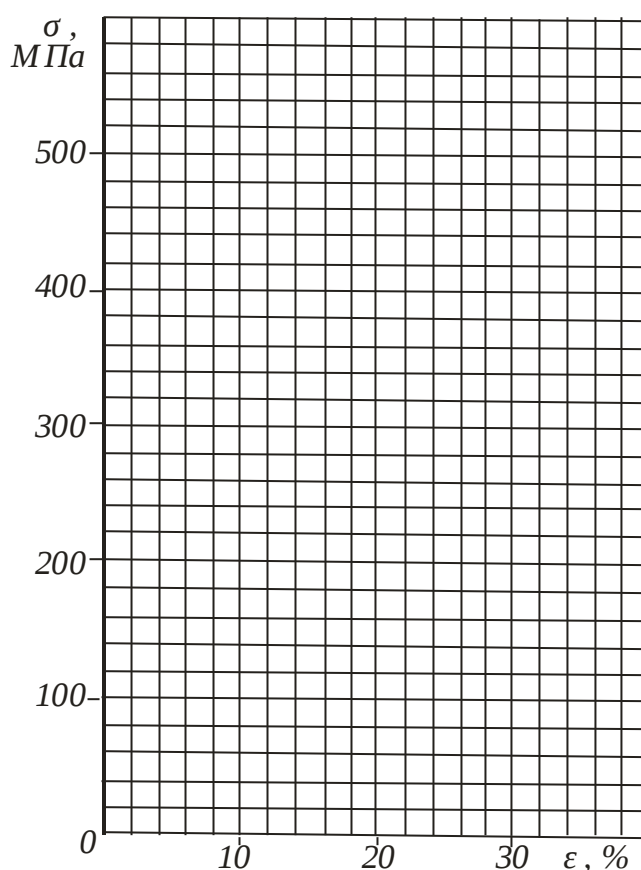


Рис. 4.

Нумерация диаграмм:

1 – сталь, 2 – дерево поперек волокон, 3 – чугун, 4 – дерево вдоль волокон

3. Выводы

- 3.1. Какие из данных материалов относятся к пластичным и хрупким, изотропным и анизотропным, однородным и неоднородным?
- 3.2. Какие напряжения являются опасными для хрупких и пластичных материалов?
- 3.3. Сопоставить удельную прочность $\sigma_{вс}/\gamma$ чугуна и дерева вдоль волокон, считая их удельные веса равными соответственно $7,7 \cdot 10^{-2} \text{ МН/м}^3$ и $0,54 \cdot 10^{-2} \text{ МН/м}^3$.

$$\begin{aligned} \text{Чугун} - \sigma_{вс}/\gamma &= \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Па/Н/м}^3 \\ \text{Дерево} - \sigma_{вс}/\gamma &= \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Па/Н/м}^3 \end{aligned}$$

Работу выполнил студент _____
Оценка теоретических знаний _____
Работу проверил _____

«_____» _____ 20 г.

Контрольные вопросы

1. Каково общее устройство испытательной машины?
2. Какие образцы применяются при испытании на растяжение и сжатие?
3. Какие материалы относятся к пластичным и хрупким?
4. Какие материалы являются изотропными и анизотропными?
5. Какие материалы называются однородными и неоднородными?
6. Каковы диаграммы сжатия стали и чугуна?
7. В чем различие диаграмм растяжения и сжатия стального образца?
8. Почему образец из стали при сжатии принимает бочкообразную форму и как можно уменьшить это явление?
9. Как формулируется гипотеза сплошности материала?
10. В каком напряженном состоянии находится материал сжатого образца?
11. На основании какого принципа тип захвата не оказывает существенного влияния на напряженное состояние точек образца, достаточно удаленных от места закрепления?
12. В каком сечении сжатого образца действуют наибольшие касательные напряжения?

13. В каких координатах вычерчивается машинная диаграмма?
14. Как ведут себя деревянные образцы при сжатии вдоль и поперек волокон?
15. Приблизительно с каким отношением высоты к диаметру должен быть выполнен стальной образец при испытании на сжатие?
16. По какой формуле определяются напряжения при испытании на сжатие?
17. Почему стальной образец при испытании на сжатие невозможно разрушить? Какое напряжение для него является опасным?
18. Сопоставить допускаемые напряжения на сжатие и растяжение для рассматриваемых материалов.
19. Что такое удельная прочность.

Лабораторная работа № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ И ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ПРИ КРУЧЕНИИ

Цель работы: экспериментально определить касательные напряжения и угол закручивания вала и сопоставить их с соответствующими теоретическими.

Задание для самостоятельной подготовки к работе

Изучить порядок расчета максимального напряжения и угла закручивания при кручении круглого вала.

Литература

1. Конспект лекций.
2. Степин П. А. Сопротивление материалов. – Москва: Лань, 2010 - 320 с.
3. Молотников В.Я. Курс сопротивления материалов. – Москва: Лань, 2016. <https://e.lanbook.com/book/71756>

1. Подготовка к испытаниям

1.1. Схема установки.

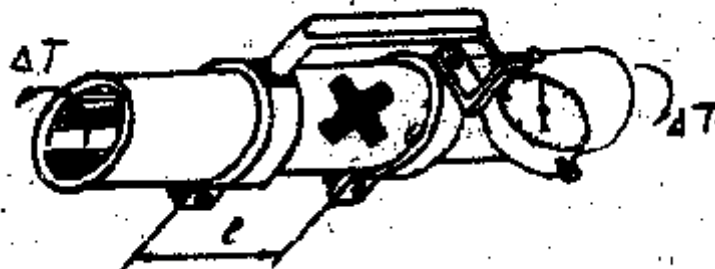
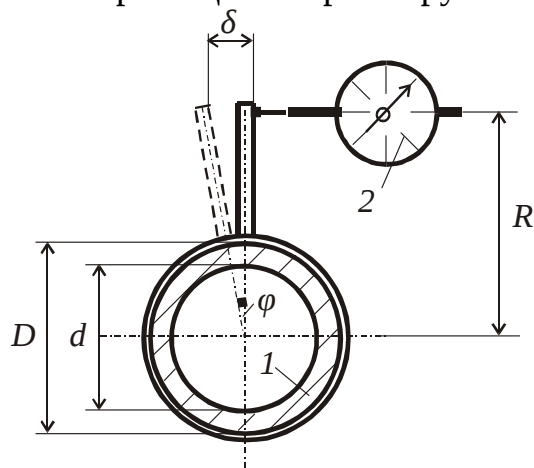


Рис. 1.

l – расстояние между закрепленными на валу кольцами (рабочая длина);

 ΔT – крутящий момент.

1.2. Перемещения при закручивании участка вала на рабочей длине.



φ – угол закручивания на рабочей длине;

δ – разность перемещений концов консолей, укрепленных на кольцах;

1 – сечение вала;

2 – индикатор часового типа для замера перемещения δ .

Рис. 2.

1.3. Характеристики торсиометра:

расстояние от оси вала до ножки индикатора $R =$ _____ см;

рабочая длина вала $l =$ _____ см;

цена деления индикатора $C =$ _____ мм;

цена деления тензоизмерителя $C_1 =$ _____.

1.4. Характеристики материала исследуемого вала:

материал вала _____;

модуль упругости при растяжении $E =$ _____ кгс/см² = _____ МПа;

коэффициент Пуассона $\mu =$ _____;

модуль упругости при сдвиге $G =$ _____ = _____ кгс/см².

2. Определение теоретических значений максимального напряжения и угла закручивания

2.1. Определение максимального напряжения.

2.1.1. Геометрические характеристики сечения вала:

наружный диаметр $D =$ _____ см;
внутренний диаметр $d =$ _____ см;

отношение диаметров $\alpha = d/D =$ _____

полярный момент инерции $J_p =$ _____ = _____ =
_____ см⁴;

полярный момент сопротивления $W_p =$ _____ = _____ =
_____ см³.

2.1.2. Максимальное касательное напряжение в сечении:

$\tau_{max} =$ _____ = _____ = _____ кгс/см² = _____ МПа.

2.1.3. Распределение касательных напряжений в сечении:

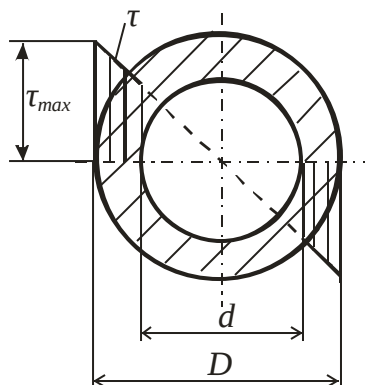


Рис. 3.

2.2. Угол закручивания φ на рабочей длине вала l :

$\varphi =$ _____ = _____ = _____ рад = _____ град;

2.3. Относительный угол закручивания:

$\theta =$ _____ = _____ = _____ град/м.

3. Определение напряжения и угла закручивания опытным путем

3.1. Журнал наблюдений

№№ ступ. нагр.	Крут. момент T , кгс·см	Ступ. нагр. ΔT , кгс·см	Показания индикатора		Показания измерителя деформаций			
			λ	$\Delta\lambda$	λ_1	$\Delta\lambda_1$	λ_3	$\Delta\lambda_3$
				X		X		X
				X		X		X
Средняя $\Delta T_{cp} =$			$\Delta\lambda_{cp} =$		$\Delta\lambda_{1cp} =$		$\Delta\lambda_{3cp} =$	

3.2. Обработка результатов наблюдений.

3.2.1. Определение напряжений:

деформации в главных направлениях:

$$\varepsilon_1 = \Delta\lambda_{1cp} \cdot C_1 = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} ;$$

$$\varepsilon_3 = \Delta\lambda_{3cp} \cdot C_1 = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} .$$

главные напряжения:

$$s_1 = \frac{E}{1-\mu^2} (\varepsilon_1 + \mu\varepsilon_3) = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ кгс/см}^2 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ МПа};$$

$$s_3 = \frac{E}{1-\mu^2} (\varepsilon_3 + \mu\varepsilon_1) = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ кгс/см}^2 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ МПа}.$$

максимальное касательное напряжение:

$$\tau_{max} = (\sigma_1 - \sigma_3)/2 = \text{_____} = \text{_____} \text{ кгс/см}^2 = \text{_____} \text{ МПа.}$$

3.2.2. Определение угла закручивания:

$$\varphi = \Delta\lambda_{cp} \cdot C/R = \text{_____} = \text{_____} \text{ рад} = \text{_____} \text{ град.}$$

4. Выводы

4.1. Сопоставление теоретических и опытных данных

Сравниваемые данные	Теоретическое значение	Опытное значение	Расхождение, %
Напряжение, τ_{max}			
Угол закручивания, φ			

4.2. Напряженное состояние исследованной точки вала:

Работу выполнил студент _____
Оценка теоретических знаний _____
Работу проверил _____

«_____» _____ 20 г.

Контрольные вопросы

1. В чем состоит суть гипотезы плоских сечений при кручении брусьев круглого поперечного сечения?
2. Какой вид имеет закон Гука при кручении?
3. По какой формуле определяют касательные напряжения в произвольной точке сечения вала?
4. По какой формуле определяются полярные моменты инерции сплошного и кольцевого сечений вала?
5. Какие сечения при кручении наиболее экономичны? Почему?
6. Какие точки сечения вала при кручении являются наиболее нагруженными?
7. Как формулируется и записывается условие прочности при кручении вала?
8. Почему при равных площадях полярный момент инерции кольцевого сечения больше, чем сплошного?
9. Как формулируется и записывается условие жесткости при кручении?
10. Как выражается связь между упругими постоянными материала?
11. Какое различие наблюдается при разрушении кручением валов из хрупкого и пластичного материала? Как это объяснить?
12. Что называют жесткостью при кручении? Какова её размерность?
13. Модуль упругости стали в два раза больше, чем меди. Какое различие в углах закручивания и напряжениях двух одинаковых по размеру валов из этих материалов?
14. Объясните устройство торсиометра Бояршинова.
15. Как ориентированы и чему равны главные напряжения при кручении вала?
16. Из каких соображений определяется величина ступени нагружения и их количество?
17. Каково влияние рабочей длины торсиометра на показания индикатора при определении угла закручивания?

Лабораторная работа №5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ И ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ПРИ ИЗГИБЕ БАЛКИ

Цель работы: 1. Экспериментально определить нормальные напряжения и перемещения при изгибе балки и сопоставить их с соответствующими теоретическими значениями.
2. Ознакомиться с работой тензодатчиков и индикаторов часового типа.

Задание для самостоятельной подготовки к работе

Изучить порядок определения внутренних усилий, нормальных и касательных напряжений, перемещений при изгибе.

Литература

1. Конспект лекций.
2. Степин П. А. Сопротивление материалов. – Москва: Лань, 2010 - 320 с.
3. Молотников В.Я. Курс сопротивления материалов. – Москва: Лань, 2016. <https://e.lanbook.com/book/71756>

1. Подготовка к испытаниям

1.1. Общий вид испытательной установки с измерительными приборами и определяемые в работе перемещения.

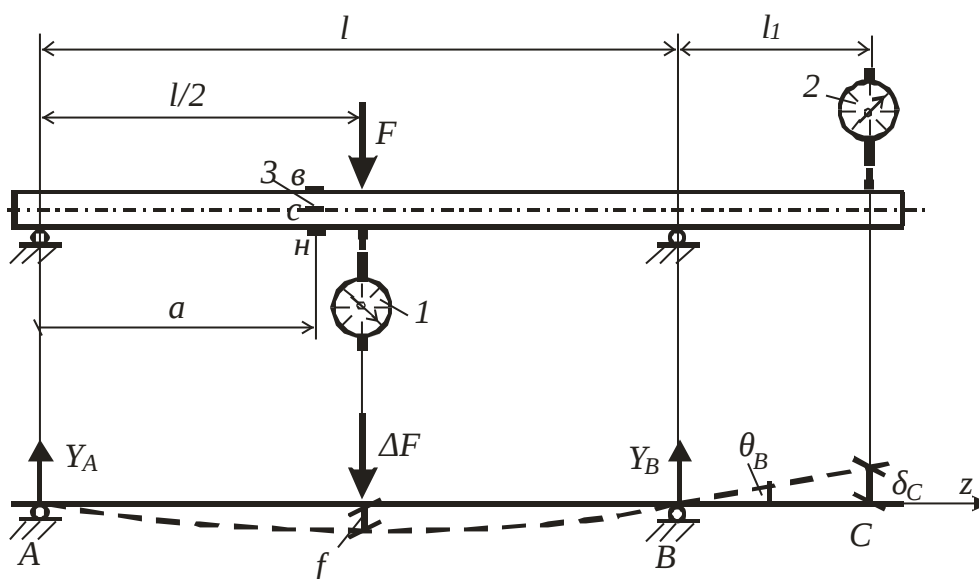


Рис.1.

- 1 – индикатор часового типа для определения прогиба под силой;
 2 – индикатор часового типа для определения перемещения точки С;
 3 – расположение тензодатчиков для определения деформации верхнего, среднего и нижнего волокон балки;
 f – прогиб под силой;
 δ_C – перемещение сечения С консольной части балки;
 θ_B – угол поворота сечения над опорой В.

1.2. Характеристики испытательных установок на различных рабочих местах (РМ).

Характеристики установок	РМ №1	РМ №2	РМ №3
Длина пролета l , см	80	100	57
Расстояние a от левой опоры до сечения, где установлены тензодатчики, см	38	30	20
Расстояние L от прибора Мартенса до сечения, где определяется угол поворота, см	-	100	-
Длина консольной части балки l_1 , см	17	20	10
Сечение балки	$b \times h$	дв. №12	$b \times h$
высота сечения h , см	2,2	12	1,8
ширина сечения b , см	1,1	6,4	0,8
толщина стенки двутавра d , см	-	0,73	-
Материал балки	сталь	сталь	сталь
Степень нагружения, кгс	15	1000	15

1.3. Измерительные приборы и их характеристики.

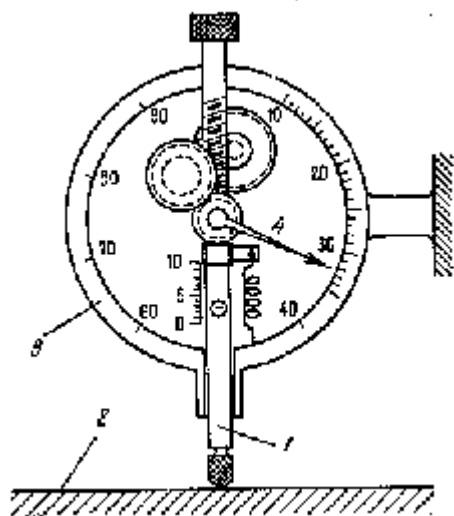


Рис. 2. Индикатор часового типа

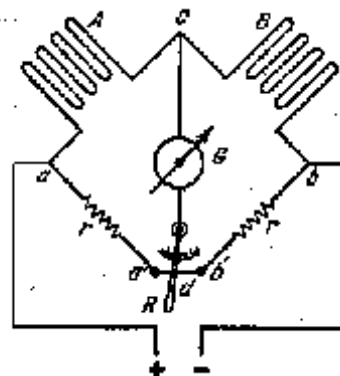


Рис. 3. Схема тензодатчика

Цена деления шкалы тензоизмерителя $C_1 =$ _____

Цена деления индикатора часового типа $C_2 = 0,01\text{мм}$.

2. Определение теоретических значений напряжений и перемещений

2.1. Определение напряжений.

2.1.1. Геометрические характеристики сечения балки:

момент инерции сечения $J_x =$ _____ см^4 ;

момент сопротивления $W_x =$ _____ см^3 ;

2.1.2. Внешние и внутренние усилия:

степень нагружения $\Delta F =$ _____ кгс;

реакции опор $Y_A = Y_B =$ _____ кгс;

изгибающий момент в сечении с координатой a :

$M(a) =$ _____ $=$ _____ $=$ _____ кгс·см.

2.1.3. Нормальные напряжения в исследуемом сечении:

верхние волокна: $\sigma_{\text{вт}} =$ _____ $=$ _____ $=$ _____ кгс/см² = _____ МПа;

нижние волокна: $\sigma_{\text{нт}} =$ _____ $=$ _____ $=$ _____ кгс/см² = _____ МПа;

средние волокна: $\sigma_{\text{ст}} =$ _____ $=$ _____ $=$ _____ кгс/см² = _____ МПа;

2.1.4. Эпюра распределения нормального напряжения по высоте сечения:

2.2. Определение теоретических значений перемещений

2.2.1. Прогиб посредине пролета

$$f_t = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ см} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ мм};$$

2.2.2. Угол поворота опорного сечения

$$\theta_{Bт} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ рад.}$$

3. Результаты испытаний

3.1. Журнал наблюдений деформаций по тензометрам

№№ ступ. нагр.	Наг- рузка F,кгс	Сту- пень ΔF , кгс	Отсчеты по тензометрам					
			верх. волокна		нижн. волокна		средн.волокна	
			отсчет λ	разность $\Delta\lambda$	отсчет λ	разность $\Delta\lambda$	отсчет λ	разность $\Delta\lambda$
0								
1								
2								
3								
Среднее $\Delta F =$ _____			Средн. $\Delta\lambda_{\text{с}} =$ _____		Средн. $\Delta\lambda_{\text{н}} =$ _____		Средн. $\Delta\lambda_{\text{с}} =$ _____	

3.2. Журнал наблюдения перемещений по индикаторам

№№ ступ. нагр.	Нагрузка F , кгс	Степень нагруж., ΔF_i , кгс	Отсчеты по индикаторам			
			индикатор 1		индикатор 2	
			отсчет λ_1	разность отсчетов $\Delta\lambda_1$	отсчет λ_2	разность отсчетов $\Delta\lambda_2$
0						
1						
2						
3						
Среднее значение $\Delta F =$ _____ кгс			Средняя разность $\Delta\lambda_1 =$ _____		Средняя разность $\Delta\lambda_2 =$ _____	

3.3. Обработка результатов наблюдений

3.3.1. Относительные деформации волокон:

верхние: $\varepsilon_{\theta} = \Delta\lambda_{\theta} \cdot C_1 =$ _____ $=$ _____

нижние: $\varepsilon_{\eta} = \Delta\lambda_{\eta} \cdot C_1 =$ _____ $=$ _____

средние: $\varepsilon_c = \Delta\lambda_c \cdot C_1 =$ _____ $=$ _____

3.3.2. Экспериментальные значения напряжений в волокнах:

верхние: $\sigma_{\theta} = E \cdot \varepsilon_{\theta} =$ _____ $=$ _____ кг/см² _____ МПа;

нижние: $\sigma_{\eta} = E \cdot \varepsilon_{\eta} =$ _____ $=$ _____ кг/см² _____ МПа;

средние: $\sigma_c = E \cdot \varepsilon_c =$ _____ $=$ _____ кг/см² _____ МПа.

3.3.3. Экспериментальные значения перемещений:

стрела прогиба $f_3 = \Delta\lambda_1 \cdot C_2 = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$ мм;

перемещение точки C $\delta_C = \Delta\lambda_2 \cdot C_2 = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$ мм;

угол поворота сечения над опорой:

$$\theta_{B3} = \delta_C / l_1 = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ рад.}$$

4. Выводы

Сравнение теоретических данных с опытными

Сравниваемые величины	Теоретическое значение	Опытное значение	Расхождение, %
Нормальное напряжение σ_ϵ , МПа			
Прогиб f , мм			
Угол поворота θ_B , рад.			

Работу выполнил студент _____
Оценка теоретических знаний _____
Работу проверил _____

«_____» _____ 20 г.

Контрольные вопросы

1. Какой изгиб называется поперечным, плоским, чистым?
2. Чему равны поперечная сила и изгибающий момент в поперечном сечении балки?
3. Сформулировать правило знаков для поперечной силы и изгибающего момента.
4. По каким формулам определяются нормальные напряжения в любой точке сечения балки и максимальные напряжения?
5. По каким формулам вычисляют моменты сопротивления для прямоугольного сечения?
6. По каким формулам определяют осевые моменты инерции круглого и прямоугольного сечений?
7. По какой формуле определяют касательные напряжения при изгибе?
8. Какой вид напряженного состояния испытывают верхние и нижние волокна балки при изгибе?
9. Как определяется статический момент отсеченной части сечения балки при вычислении касательного напряжения в какой-либо точке сечения по формуле Журавского?
10. В каком напряженном состоянии находится материал нейтрального слоя балки при поперечном изгибе?
11. Что называется жесткостью при изгибе? Какой вид имеет закон Гука при изгибе?
12. Как записывается дифференциальное уравнение оси изогнутой балки?
13. Что представляют собой граничные условия для балки, шарнирно опертой по концам?
14. По какому закону изменяются нормальные напряжения в поперечном сечении балки при изгибе?
15. В каком месте исследуемой в лабораторной работе балки угол поворота поперечного сечения балки равен нулю?
16. Каким прибором измеряют прогиб балки? Как он устроен?
17. Каким образом измеряют угол поворота сечения балки?
18. Какие показания дает тензомер, установленный на уровне центров тяжести сечения? Как объяснить эти показания?
19. Как вычислить напряжение по экспериментально найденной деформации?
20. Как и почему изменятся напряжения и перемещения исследуемой в лабораторной работе балки, если развернуть её на 90° и положить на опоры плашмя?

Лабораторная работа № 6

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ТОЧКИ ПОВЕРХНОСТИ ВАЛА ПРИ ИЗГИБЕ С КРУЧЕНИЕМ

Цель работы: 1. Ознакомиться с основами электрического тензометрирования для определения напряжений при сложном сопротивлении.
2. Проверить справедливость теоретических формул определения главных напряжений при совместном действии изгиба и кручения.

Задание для самостоятельной подготовки к работе

Знать основные определения и формулы расчета главных напряжений и положения главных площадок при изгибе с кручением.

Литература

1. Конспект лекций.
2. Степин П. А. Сопротивление материалов. – Москва: Лань, 2010 - 320 с.
3. Молотников В.Я. Курс сопротивления материалов. – Москва: Лань, 2016. <https://e.lanbook.com/book/71756>

1. Подготовка к испытаниям

1.1. Схема установки:

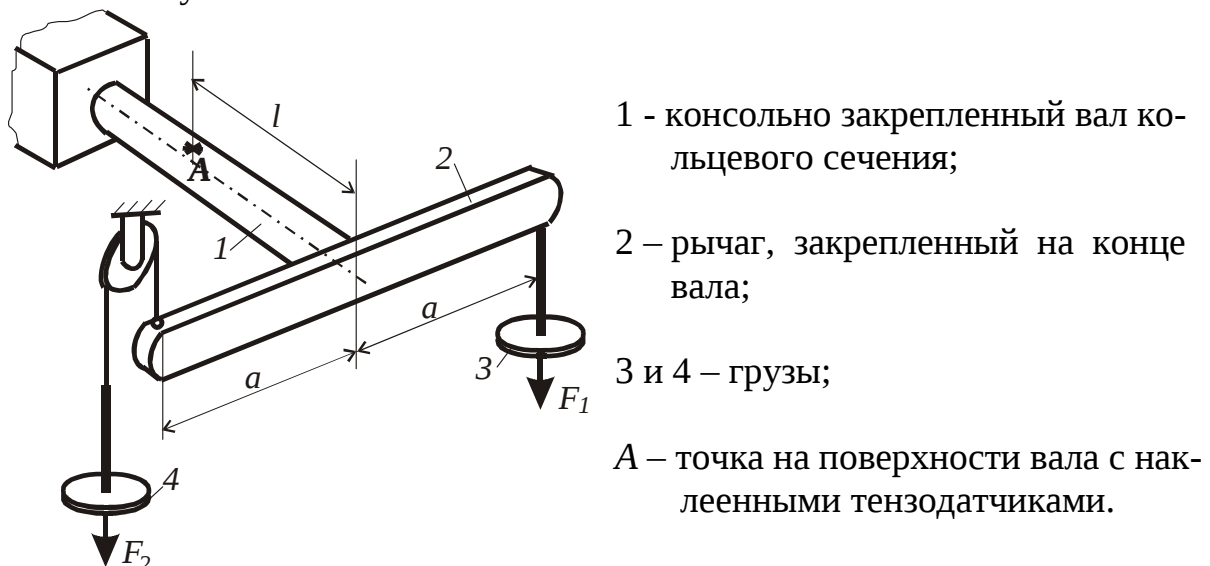


Рис. 1.

1.2. Размеры установки:

расстояние от конца консоли до исследуемой точки $l = 40\text{см}$;
плечо рычага $a = 30\text{см}$;
наружный диаметр вала $D = 4,5\text{см}$;
внутренний диаметр вала $d = 4\text{см}$;
отношение диаметров $\alpha = d/D = 0,889$.

1.3. Характеристики материала вала:

материал – дюралюминий;
модуль упругости при растяжении $E = 0,7 \cdot 10^6 \text{кгс/см}^2 = 0,7 \cdot 10^5 \text{МПа}$;
коэффициент Пуассона $\mu = 0,34$.

2. Определение теоретических значений главных напряжений и положения главных площадок

2.1. Схема нагружения балки и эпюры изгибающих и крутящих моментов:

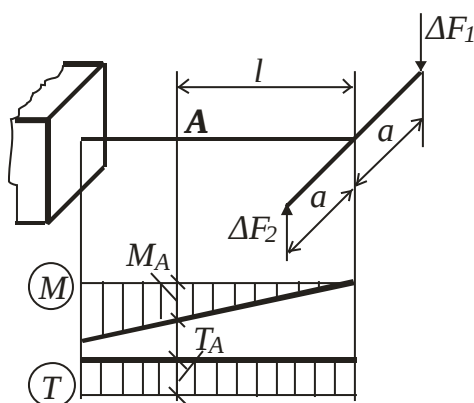


Рис. 2.

2.2. Значение внешних и внутренних сил:

ступени нагружения: $\Delta F_1 = \underline{\hspace{2cm}}$ кгс; $\Delta F_2 = \underline{\hspace{2cm}}$ кгс;

изгибающий момент в сечении A:

$$M_A = (\Delta F_1 - \Delta F_2)l = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{кгс} \cdot \text{см};$$

крутящий момент:

$$T = (\Delta F_1 + \Delta F_2)a = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{кгс} \cdot \text{см}.$$

2.3. Моменты сопротивления сечения:

осевой $W_x = \pi D^3(1 - \alpha^4)/32 = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ см}^3$;

полярный $W_p = 2W_x = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ см}^3$.

2.4. Нормальное и касательное напряжения в исследуемой точке:

$\sigma = M_A / W_x = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ кгс/см}^2 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ МПа}$;

$\tau = -T / W_p = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ кгс/см}^2 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ МПа}$.

2.5. Напряженное состояние точки A:

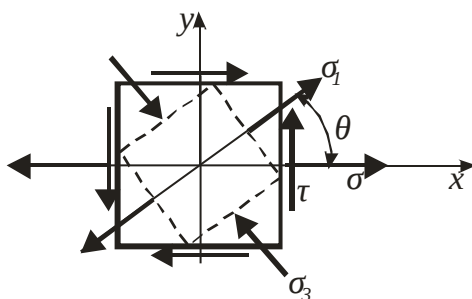


Рис.3.

2.6. Главные напряжения и положение главных площадок:

$\sigma_1 = \frac{\sigma}{2} + \sqrt{\frac{\sigma^2}{4} + \tau^2} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ кгс/см}^2 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ МПа}$;

$\sigma_3 = \frac{\sigma}{2} - \sqrt{\frac{\sigma^2}{4} + \tau^2} = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ кгс/см}^2 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ МПа}$;

$\tan 2\theta = -2\tau / \sigma = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$; $\theta = \underline{\hspace{2cm}} \text{ град}$.

3. Определение экспериментальных значений главных напряжений и положения главных площадок.

3.1. Схема расположения тензодатчиков в точке A вала:

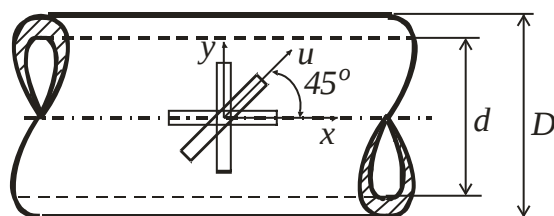


Рис. 4.

Цена деления тензодатчиков $C =$ _____

3.2. Журнал наблюдения деформаций в направлениях x, y, u .

№№ ступ. нагр.	Нагрузка, кгс				Показания тензодатчиков					
	F_1	ΔF_1	F_2	ΔF_2	Ось x		Ось y		Ось u	
					λ	$\Delta \lambda$	λ	$\Delta \lambda$	λ	$\Delta \lambda$
0										
1										
2										
3										
Средняя $\Delta F_1 =$		Средняя $\Delta F_2 =$		Средняя $\Delta \lambda_x =$		Средняя $\Delta \lambda_y =$		Средняя $\Delta \lambda_u =$		

3.3. Определение деформаций.

3.3.1. Линейные деформации:

$$\varepsilon_x = \Delta \lambda_x \cdot C = \text{_____} = \text{_____};$$

$$\varepsilon_y = \Delta \lambda_y \cdot C = \text{_____} = \text{_____};$$

$$\varepsilon_u = \Delta \lambda_u \cdot C = \text{_____} = \text{_____}.$$

3.3.2. Угловая деформация:

$$\gamma_{yx} = 2\varepsilon_u - \varepsilon_x - \varepsilon_y = \underline{\hspace{4cm}} = \underline{\hspace{4cm}}$$

3.3.3. Главные деформации и их направления:

$$e_1 = \frac{e_x + e_y}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{(e_x - e_y)^2 + (g_{yx})^2} ;$$

$$e_3 = \frac{e_x + e_y}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{(e_x - e_y)^2 + (g_{yx})^2} .$$

$$\varepsilon_1 = \underline{\hspace{4cm}} = \underline{\hspace{4cm}} ;$$

$$\varepsilon_3 = \underline{\hspace{4cm}} = \underline{\hspace{4cm}} ;$$

$$tg2\theta = \gamma_{yx} / (\varepsilon_x - \varepsilon_y) = \underline{\hspace{4cm}} = \underline{\hspace{4cm}} ;$$

$$2\theta = \underline{\hspace{4cm}} \text{ град}; \quad \theta = \underline{\hspace{4cm}} \text{ град} .$$

3.4. Главные напряжения:

$$s_1 = \frac{E}{1-\mu^2} (e_1 + \mu e_3) = \underline{\hspace{4cm}} =$$

$$= \underline{\hspace{4cm}} \text{ кгс/см}^2 = \underline{\hspace{4cm}} \text{ МПа};$$

$$s_3 = \frac{E}{1-\mu^2} (e_3 + \mu e_1) = \underline{\hspace{4cm}} =$$

$$= \underline{\hspace{4cm}} \text{ кгс/см}^2 = \underline{\hspace{4cm}} \text{ МПа} .$$

4. Сопоставление теоретических и экспериментальных данных.

Сравни- ваемые данные	Теоретическое значение	Опытное значение	Расхождение, %
σ_1 , МПа			
σ_3 , МПа			
θ , град			

Работу выполнил студент _____
Оценка теоретических знаний _____
Работу проверил _____

«_____» _____ 20 г.

Контрольные вопросы

1. Какие внутренние усилия и как они определяются в общем случае действия сил на брус?
2. В каком случае вал будет работать только на кручение или только на изгиб?
3. Почему для исследования напряженного состояния при изгибе с кручением используется полый вал, а не сплошной?
4. В каком напряженном состоянии находится точка A на поверхности вала при изгибе с кручением?
5. Какие площадки, напряжения и деформации называют главными?
6. Как определяются нормальное и касательное напряжения в точке A на поверхности вала при изгибе с кручением?
7. Каково должно быть соотношение между внешними силами ΔF_1 и ΔF_2 в лабораторной работе, чтобы касательное и нормальное напряжения на поверхности вала были одинаковыми?
8. Как изменятся напряжения при замене дюралюминиевой тонкостенной трубы на такую же стальную?
9. Записать условия прочности по допускаемым напряжениям при изгибе, кручении и их совместном действии?
10. По каким формулам можно вычислить главные напряжения и главные деформации, действующие в точке A на поверхности вала при изгибе с кручением?
11. Можно ли с помощью механических или электрических тензометров измерить угловую деформацию?
12. Для точки A на поверхности вала вычислены эквивалентные напряжения по III и IV теориям прочности. В каком случае оно больше?
13. Какое сечение трубы и какие точки в этом сечении являются опасными?
14. Как рассчитать максимально допустимую нагрузку, действующую на эту конструкцию, если $\Delta F_1 = 2\Delta F_2$?

Лабораторная работа № 7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМОЙ БАЛКИ

Цель работы: Экспериментально определить прогиб под силой и угол поворота сечения над опорой балки и сопоставить их с теоретическими значениями.

Задание для самостоятельной подготовки к работе

Знать: Определение перемещений при изгибе с помощью дифференциального уравнения оси изогнутой балки и порядок раскрытия статической неопределённости с помощью уравнения трех моментов.

Литература

1. Конспект лекций.
2. Степин П. А. Сопротивление материалов. – Москва: Лань, 2010 - 320 с.
3. Молотников В.Я. Курс сопротивления материалов. – Москва: Лань, 2016. <https://e.lanbook.com/book/71756>

1. Характеристика установки.

1.1. Схема и размеры установки.

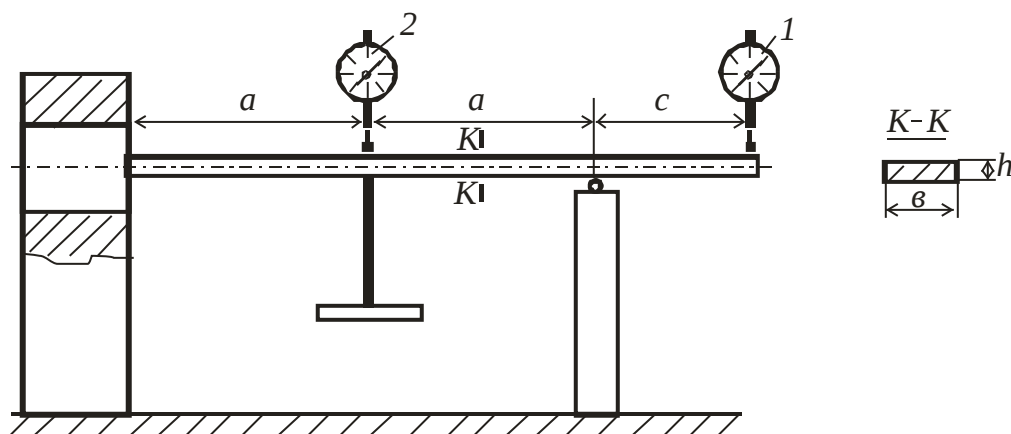


Рис. 1.

$a =$ _____ см; $c =$ _____ см.

1.2. Геометрические характеристики сечения балки:

ширина $b =$ _____ см; высота $h =$ _____ см ;

момент инерции $J =$ _____ = _____ = _____ см⁴.

1.3. Характеристики материала балки:

материал – Ст.3; модуль упругости $E = 2 \cdot 10^6 \text{ кгс/см}^2$;

изгибная жесткость балки

$$EJ = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ кгс} \cdot \text{см}^2.$$

1.4. Измерительный прибор – индикаторы часового типа (1 и 2 на рис. 1) с ценой деления $C_u = 0.01 \text{ мм}$.

1.5. Степень нагружения $F = 1 \text{ кгс}$.

2. Теоретический расчет.

2.1. Схема балки для составления уравнения трех моментов.

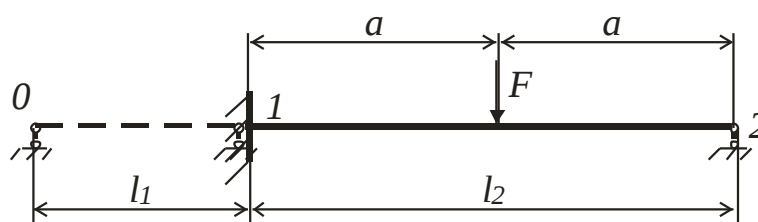


Рис. 2.

Значения параметров, входящих в уравнение:

$$M_0 = \underline{\hspace{2cm}}; \quad M_2 = \underline{\hspace{2cm}}; \quad l_1 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ см}; \quad l_2 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ см};$$

$$EJ\alpha_1^0 = Fl^2/16 = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ кгс} \cdot \text{см}^2; \quad EJ\beta_1^0 = \underline{\hspace{2cm}}$$

Уравнение трех моментов и значение опорного момента:

$$M_0 l_1 + 2M_1(l_1 + l_2) + M_2 l_2 = -6EI(\alpha_1^0 + \beta_1^0);$$

$$M_1 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ кгс} \cdot \text{см}.$$

2.2. Расчетная схема балки.

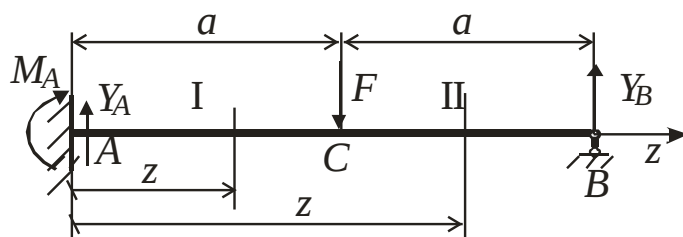


Рис. 3.

Приняв $M_A = M_1$, из уравнения статики определяем опорные реакции:

$$\Sigma m_A(F_i) = 0: \quad Y_B = \quad \text{кгс};$$

$$\Sigma m_B(F_i) = 0: \quad Y_A = \quad \text{кгс}.$$

$$\text{Проверка: } \Sigma Y_i = 0: \quad = 0.$$

2.3. Дифференциальное уравнение оси изогнутой балки с началом координат в сечении A и его интегрирование:

$$EJy'' = M_A + Y_A \cdot z|_I - F(z - a)|_{II} = \quad$$

$$EJy'(z) = \quad$$

$$EJy(z) = \quad$$

Деформационная проверка:

$$EJy(2a) = \quad \approx 0.$$

2.4. Теоретическое значение угла поворота сечения над опорой B и прогиба под силой:

$$EJ\theta_B = EJy'(2a) = \quad = \quad \text{кгс/см}^2;$$

$$\theta_B = \quad = \quad \text{рад};$$

$$EJy_C = EJy(a) = \quad = \quad \text{кгс/см}^3;$$

$$y_C = \quad = \quad \text{см} = \quad \text{мм}.$$

3. Определение угла поворота и прогиба опытным путем.

3.1. Схема перемещений балки:

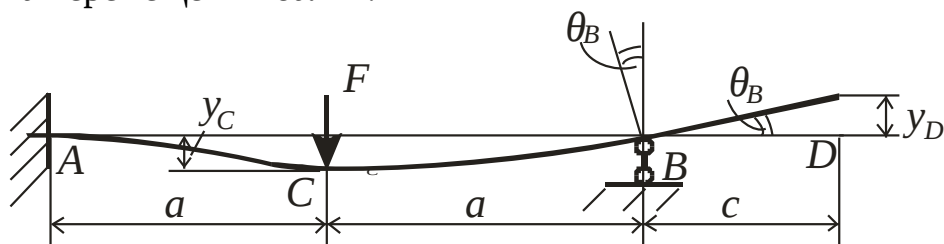


Рис. 4.

3.2. Таблица результатов наблюдений:

№№ ступ. нагр.	Сила F , кгс	Ступ. ΔF , кгс	Показания индикаторов			
			Отсчет λ_1	Разность $\Delta\lambda_1$	Отсчет λ_2	Разность $\Delta\lambda_1$
0						
1						
2						
3						
Средняя $\Delta F =$			Средняя $\Delta\lambda_1 =$		Средняя $\Delta\lambda_2 =$	

3.2. Вертикальное перемещение сечения D:

$$y_D = \Delta \lambda_1 \cdot C_u = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ мм.}$$

3.3. Экспериментальное значение угла поворота

$$\theta_B = y_D / c = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ рад.}$$

3.4. Экспериментальное значение прогиба:

$$y_C = \Delta \lambda_2 \cdot C_u = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ мм.}$$

4. Сравнение теоретических и опытных данных:

Перемещения	Теоретическое значение	Опытные данные	Расхождение, %
Угол поворота, рад			
Прогиб, мм			

Работу выполнил студент _____
Оценка теоретических знаний _____
Работу проверил _____

«_____» _____ 20 г.

Контрольные вопросы

1. Какие системы называют статически неопределимыми?
2. Как раскрывается статическая неопределимость?
3. Как записывается уравнение трех моментов и какой смысл имеют входящие в него параметры?
4. Как в лабораторной работе определяется угол поворота опорного сечения?
5. В чем заключается деформационная проверка правильности раскрытия статической неопределимости неразрезной балки?
6. Какие граничные условия определяют постоянные интегрирования дифференциального уравнения оси изогнутой балки на двух опорах и консольно закрепленной?
7. От чего зависит изгибная жесткость балки?
8. Какие перемещения возникают при изгибе?
9. Какой смысл имеют постоянные интегрирования дифференциального уравнения оси изогнутой балки?
10. Какие правила необходимо соблюдать при составлении и интегрировании дифференциального уравнения оси изогнутой балки?
11. Как определить положение и величину стрелы прогиба?
12. Как изменятся прогибы балки с отношением размеров прямоугольного сечения $h/b = 2$, если его повернуть на 90° ?

Лабораторная работа № 8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗГИБНОЙ ЖЕСТКОСТИ СТЕРЖНЯ И ПРОВЕРКА ПРАВИЛЬНОСТИ ФОРМУЛЫ ЭЙЛЕРА КРИТИЧЕСКОЙ СИЛЫ

- Цель работы: 1. В результате испытания на поперечный изгиб определить модуль упругости материала стержня и его изгибную жесткость.
2. Опытным путем найти критическую силу и сопоставить её с соответствующим теоретическим значением.

Задание для самостоятельной подготовки к работе

Знать вопросы, касающиеся потери устойчивости центрально сжатых стержней, и основные формулы определения критической силы.

Литература

1. Конспект лекций.
2. Степин П. А. Сопротивление материалов. – Москва: Лань, 2010 - 320 с.
3. Молотников В.Я. Курс сопротивления материалов. – Москва: Лань, 2016. <https://e.lanbook.com/book/71756>

1. Подготовка к испытаниям

Основные формулы для лабораторной работы.

Прогиб под силой, приложенной посередине балки (рис. 1):

$$f = \frac{Fl^3}{48EJ_x}. \quad (1)$$

Формула Эйлера критической силы (рис. 2):

$$F_{кр} = \frac{\pi^2 EI_x}{(\eta \cdot L)^2}. \quad (2)$$

1.1. Данные о материале:

материал - _____

принимаемый предел пропорциональности $\sigma_n =$ _____ МПа _____ кгс/см²

1.2. Геометрические характеристики поперечного сечения стержня:

ширина $b =$ _____ см; высота $h =$ _____ см;

площадь $A =$ _____ см²;

минимальный момент инерции

$J_x =$ _____ = _____ = _____ см⁴;

минимальный радиус инерции

$i_x =$ _____ = _____ = _____ см.

2. Определение изгибной жесткости стержня.

2.1. Схема нагружения стержня при поперечном изгибе.

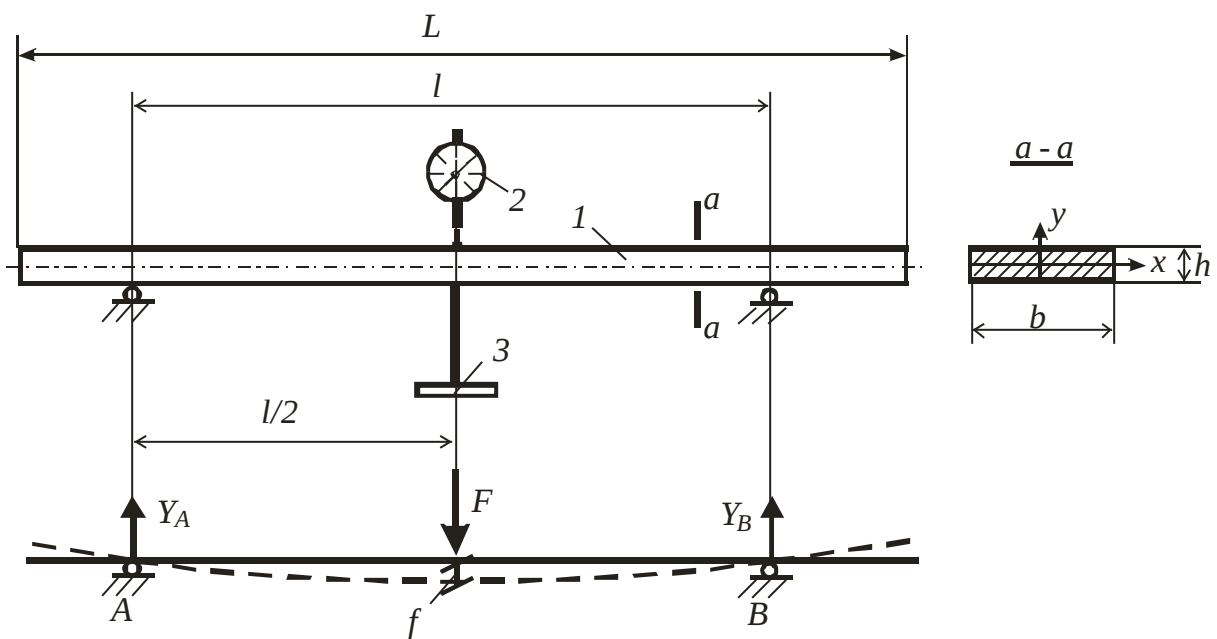


Рис. 1.

1 – стержень, 2 – индикатор часового типа с ценой деления $C = 0,01$ мм,
3 – груз.

2.2. Определение величины максимально допустимого груза.

Момент сопротивления сечения $W = bh^2/6 =$ _____ = _____ см³.

Длина пролета балки $l =$ _____ см.

Максимальный изгибающий момент под грузом $M_{max} = Y_A \cdot l/2 = F_{max} \cdot l/4$.

Максимально допустимое напряжение $\sigma_{max} = M_{max}/W = \sigma_n$.

Максимально допустимый груз

$$F_{max} = 4W \cdot \sigma_n / l = \text{_____} = \text{_____} \text{ кгс.}$$

2.3. Проведение испытаний балки.

Степень нагружения $\Delta F =$ _____ кгс.

Результаты испытаний

№№ ступ. нагр.	Первое положение балки			Второе положение балки		
	Груз, кгс	Показания индикатора		Груз, кгс	Показания индикатора	
		λ	$\Delta\lambda$		λ	$\Delta\lambda$
0						
1						
2						
3						

$$\Delta\lambda_{cp} = \text{_____}$$

$$\Delta\lambda_{cp} = \text{_____}$$

Прогиб, соответствующий степени нагружения:

$$\Delta f = \Delta\lambda_{cp} \cdot C = \text{_____} \text{ мм } \text{_____} \text{ см.}$$

Изгибная жесткость из формулы (1):

$$EJ_x = \Delta F \cdot l^3 / 48 \Delta f = \text{_____} = \text{_____} \text{ кгс} \cdot \text{см}^2.$$

4. Результат эксперимента

$F_9 =$ _____ кгс

5. Сравнение теоретического значения критической силы с экспериментальным.

Критическая сила		Процент расхождения
Теория	Опыт	

Работу выполнил студент _____
Оценка теоретических знаний _____
Работу проверил _____

« _____ » _____ 20 г.

Контрольные вопросы

1. В чем различие потери устойчивости при центральном сжатии стержней большой, средней и малой гибкостей?
2. При каких напряжениях применима формула Эйлера определения критической силы?
3. В каком интервале заключены напряжения при потере устойчивости стержней средней гибкости? Как их определить?
4. Как определяются критические напряжения стержней малой гибкости?
5. Какую силу называют критической?
6. Как определить аналитическим путем величину критической силы?
7. От каких величин зависит гибкость стержня? Зависит ли она от свойств материала?
8. Как влияют способы закрепления стойки на величину критической силы?
9. Каковы значения коэффициентов приведения длины при различных способах закрепления концов центрально сжатого стержня?
10. Как определяют критические напряжения центрально сжатых стоек при средних значениях их гибкости?
11. Сжатый стержень ошибочно рассчитан по формуле Эйлера в области её неприменимости. Опасна ли эта ошибка, или она приведет только к перерасходу материала на изготовление стержня?
12. В чем состоит смысл введения коэффициента продольного изгиба φ в практическую формулу расчета на устойчивость?
13. В каком направлении происходят перемещения при потере устойчивости центрально сжатого стержня?
14. Какую гибкость нужно принять в расчет при определении критического напряжения сжатого стержня? Как его определить?
15. Каково соотношение между допускаемыми напряжениями при расчете на устойчивость и при расчете на прочность?
16. От чего зависит коэффициент уменьшения основного допускаемого напряжения при расчете сжатой стойки на устойчивость?
17. Какие параметры определяют изгибную жесткость стержня?
18. Почему при определении модуля упругости напряжения не должны превышать предела пропорциональности?

Приложение 1

Механические характеристики некоторых сталей

Марка	Химический состав	Предел текучести σ_t , МПа	Предел прочности σ_b , МПа	Относительное удлинение δ , %	Область применения
Ст.2	$C = 0,09 \div 1,05$ $Mn = 0,30 \div 0,50$	240	340 ÷ 420	26	Строительные конструкции
Ст.3	$C = 0,12 \div 0,22$ $Mn = 0,35 \div 0,55$ $Si = 0,12 \div 0,30$	220	380 ÷ 470	21	Основная для строительных конструкций
Ст.4	$C = 0,18 \div 0,27$ $Mn = 0,4 \div 0,6$ $Si = 0,12 \div 0,30$	240	450 ÷ 520	21	Машины
Ст.5	$C = 0,28 \div 0,37$ $Mn = 0,45 \div 0,70$ $Si = 0,15 \div 0,30$	270	500 ÷ 620	17	Валы, оси
Ст.6	$C = 0,38 \div 0,50$ $Mn = 0,45 \div 0,70$ $Si = 0,15 \div 0,30$	300	600 ÷ 720	13	Валы, оси

Приложение 2

Механические характеристики судостроительных материалов при нормальных условиях

Материал	Предел прочности при сжатии, МПа	Предел прочности при растяжении, МПа	Модуль упругости, МПа	Коэффициент Пуассона
Корпусная халилов- ская сталь	—	500÷620	$(2÷2,1) \times 10^5$	0,25÷0,30
Чугун серый	600÷1000	140÷180	$(1,15÷1,6) \times 10^5$	0,23÷0,27
Корабельная латунь	—	300÷600	1×10^5	0,32÷0,42
Дюралюминий	—	до 500	$0,71 \times 10^5$	0,3÷0,4
Сосна вдоль волокон	40	80	$(1÷1,2) \times 10^4$	—
Сосна поперек волокон	4	—	$(0,5÷1) \times 10^3$	—
Судостроительный стеклопластик (по основе материала)	до 190	до 390	до $0,26 \times 10^5$	—

СОДЕРЖАНИЕ

Инструкция по технике безопасности	3
Лабораторная работа № 1. Определение упругих постоянных стали	4
Лабораторная работа № 2. Испытание малоуглеродистой стали на растяжение	9
Лабораторная работа № 3. Испытания на сжатие	14
Лабораторная работа № 4. Определение напряжений и перемещений при кручении	21
Лабораторная работа № 5. Определение напряжений и перемещений при изгибе балки	27
Лабораторная работа № 6. Исследование напряженного состояния точки поверхности вала при изгибе с кручением	34
Лабораторная работа № 7. Определение перемещений статически неопределимой балки	41
Лабораторная работа № 8. Определение изгибной жесткости стержня и проверка правильности формулы Эйлера критической силы	47
Приложения	53

**Луиза Николаевна Пичугова
Алексей Петрович Наземцев**

**ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ
ПО СОПРОТИВЛЕНИЮ МАТЕРИАЛОВ**

Издается в авторской редакции

Технический редактор – О.В. Дмитриева

Подписано к печати 14.05.2018 г. Изд. № 30/18. Зак. № 29/18. Тираж 100 экз.
Объем 7,0 п. л. Усл. печ. л. 6,51. Уч.-изд. л. 6,86.
Формат бумаги 60x84 1/8

Издательский центр СевГУ