

Министерство образования и науки Российской Федерации
Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет

СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

**Методические указания по подготовке, проведению
лабораторных работ и составлению отчетов**

**Составители Л. В. Кукса, Л. М. Арзамаскова,
Е. Е. Евдокимов**

**Волгоград
ВолгГАСУ
2016**



© Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный
архитектурно-строительный университет», 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие авторов.....	4
Лабораторная работа № 1. Испытание на растяжение мягкой и жесткой стали с построением диаграмм растяжения.....	6
Лабораторная работа № 2. Испытание стали, чугуна и дерева на сжатие.....	11
Лабораторная работа № 3. Определение модуля упругости при растяжении E , коэффициента Пуассона μ и модуля упругости при сдвиге G	16
Лабораторная работа № 4. Испытание металлической балки на изгиб с проверкой основных гипотез и определением нормальных напряжений.....	24
Лабораторная работа № 5. Определение перемещений при изгибе балок.....	30
Лабораторная работа № 6. Определение опорного момента в статически неопределимой балке.....	34
Лабораторная работа № 7. Определение напряжения при внецентренном растяжении.....	36
Лабораторная работа № 8. Исследование деформаций балки при косом изгибе.....	42
Лабораторная работа № 9. Определение напряжений при изгибе кривого бруса.....	45
Лабораторная работа № 10. Исследование продольного изгиба.....	48
Библиографический список.....	52

ПРЕДИСЛОВИЕ АВТОРОВ

Лабораторные работы являются составной частью курса сопротивления материалов, включающего теоретическую расчетную часть и экспериментальную часть. Разработка расчетных методов в сопротивлении материалов основывается на применении ряда гипотез, которые проверяются в опыте. Задача состоит, с одной стороны, в том, чтобы определить, какие возникают усилия в элементах конструкций и деталях машин и соответственно напряжения и деформации. С другой стороны, необходимо решить вопрос о выборе материала, который в состоянии выдержать эти напряжения без разрушения или без превышения допустимых значений деформаций. Поэтому в лабораторном практикуме по сопротивлению материалов определяют физико-механические свойства конструкционных материалов: упругие свойства, модуль Юнга, модуль сдвига, коэффициент Пуассона, характеристики прочности, предел пропорциональности, предел упругости, предел текучести, предел прочности или временное сопротивление, истинное сопротивление разрыву, характеристики пластичности и др.

Определение физико-механических характеристик основано на применении различных испытательных машин. В издании приведены схемы и описание основных испытательных машин, применяемых на практике. Это испытательные машины с механическим и гидравлическим приводами, обеспечивающие широкий диапазон нагрузок от 1 до 500 кН. С помощью несложных приспособлений и специальных захватов для установки образцов можно проводить испытания на растяжение, сжатие, изгиб, сдвиг и др., а также определить основные механические свойства. Поэтому их называют универсальными испытательными машинами.

В данном издании представлены измерительные приборы, с помощью которых имеется возможность с высокой степенью точности измерять линейные и угловые перемещения. Эти приборы используются для определения упругих констант конструкционных материалов. В лабораторных работах для анализа напряженно-деформированных состояний применяются также методы тензометрирования с помощью проволочных датчиков сопротивления. Это используется для проверки правильности теоретических формул сопротивления материалов.

Описание каждой лабораторной работы проводится по определенному плану, приведены образцы таблиц для включения опытных результатов. Это поможет студентам составлять отчеты при выполнении научно-исследовательских работ.

Авторы стремились к тому, чтобы изложение учебного материала отмечалось достаточной ясностью, последовательностью, полнотой освещения рассматриваемых вопросов, хорошо подобранными и выполненными рисунками.

Лабораторная работа № 1

ИСПЫТАНИЕ НА РАСТЯЖЕНИЕ МЯГКОЙ И ЖЕСТКОЙ СТАЛИ С ПОСТРОЕНИЕМ ДИАГРАММ РАСТЯЖЕНИЯ

Цель работы – опытное изучение поведения образца из стали в процессе растяжения. Определение характеристик прочности и пластичности стали

ОБОРУДОВАНИЕ, ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ, ИСПЫТУЕМЫЕ ОБРАЗЦЫ

На рис. 1.1 приведена схема испытательной машины Р-5, создающей наибольшее усилие 5000 кгс (50кН), и наименование основных ее частей.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Наличие пишущего устройства в разрывной машине Р-5 позволяет получить диаграмму растяжения, типичный вид которой для малоуглеродистой стали показан на рис. 1.2. Эта диаграмма называется также машинной диаграммой. На машинной диаграмме можно отметить ряд характерных точек, ординаты которых соответствуют нагрузкам, по значениям которых определяются характеристики прочности:

$$\sigma_{\text{пц}} = \frac{F_{\text{пц}}}{A_0} \text{ — предел пропорциональности;}$$

$$\sigma_{\text{уп}} = \frac{F_{\text{уп}}}{A_0} \text{ — предел упругости;}$$

$$\sigma_{\text{т}} = \frac{F_{\text{т}}}{A_0} \text{ — физический предел текучести;}$$

$$\sigma_{\text{в}} = \frac{F_{\text{max}}}{A_0} \text{ — временное сопротивление, или предел прочности при рас-}$$

тяжении;

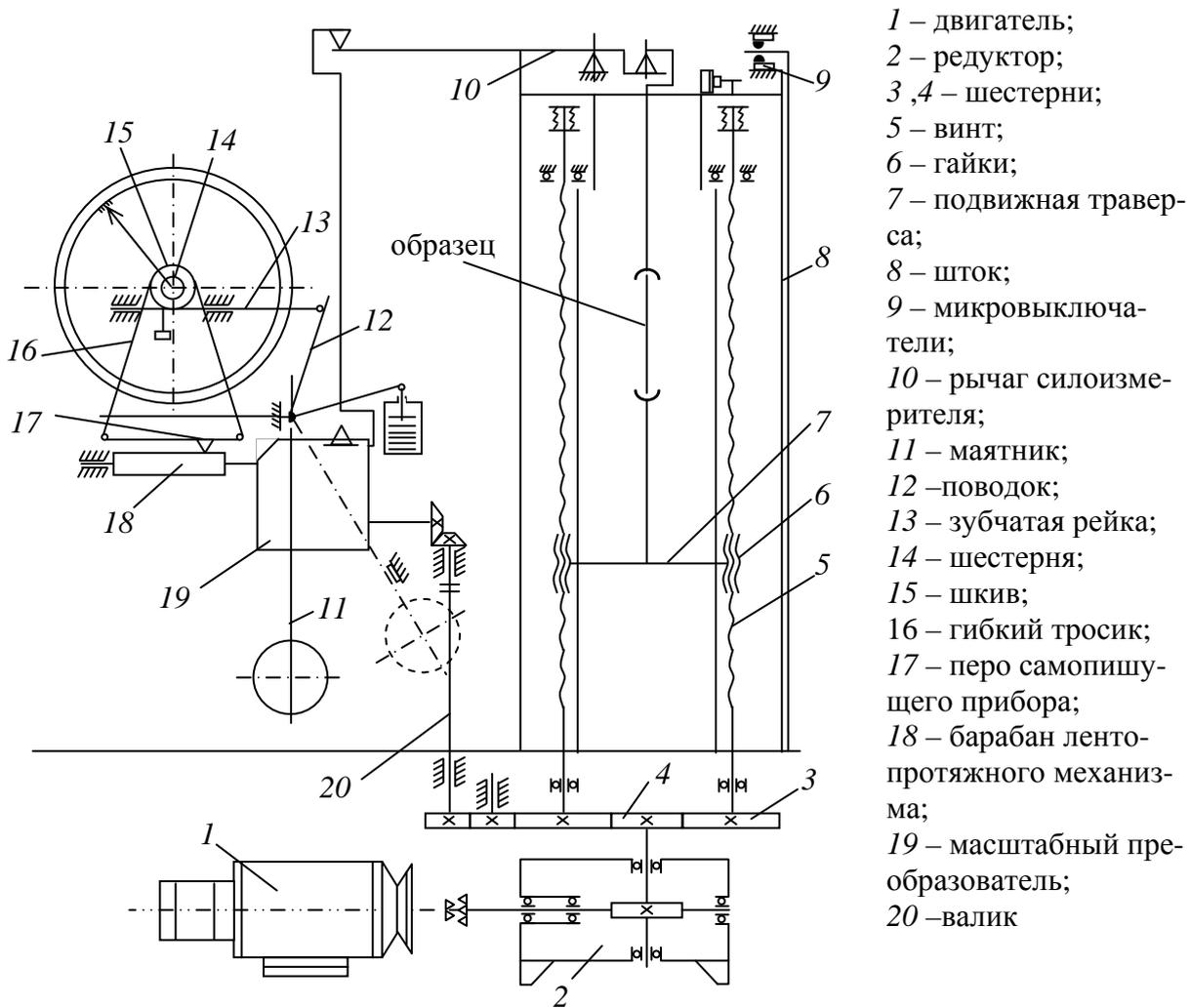


Рис. 1.1

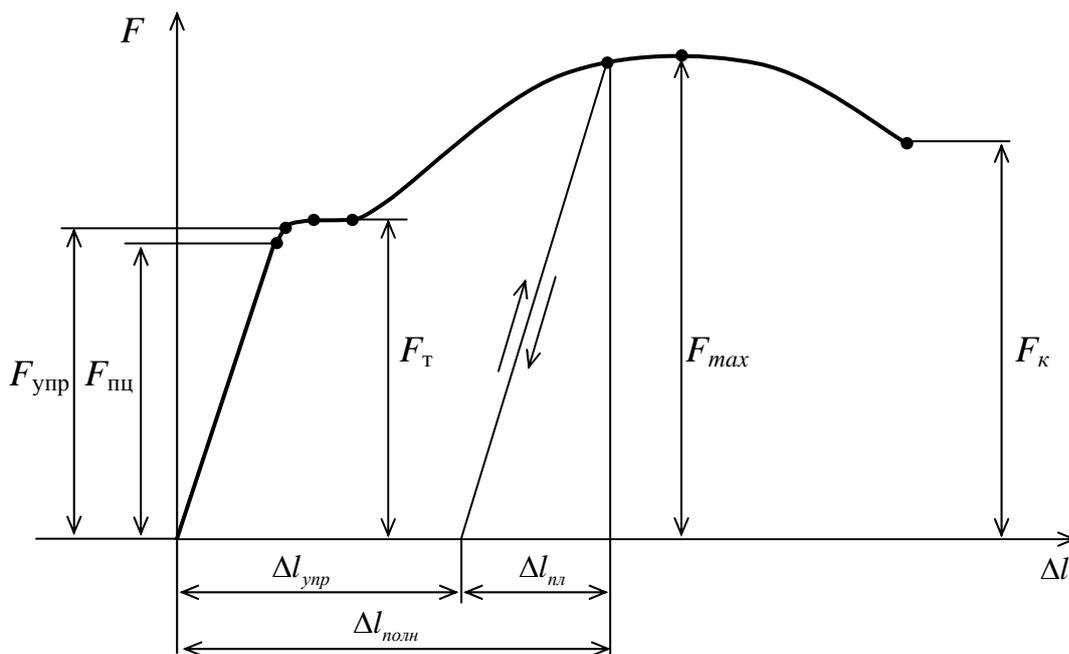


Рис. 1.2

$$S_k = \frac{F_k}{A_k} \text{ — истинное сопротивление разрыву;}$$

A_0 — первоначальная площадь поперечного сечения образца;

F_k — нагрузка в момент разрушения образца;

A_k — площадь поперечного сечения в шейке разрушенного образца.

Пределом пропорциональности $\sigma_{\text{пц}}$ называется наибольшее напряжение, при котором справедлив закон Гука. Пределом упругости $\sigma_{\text{упр}}$ называется максимальное напряжение, которое может выдержать материал, не обнаруживая признаков остаточной деформации при разгрузке. Физическим пределом текучести для металлов σ_T называется напряжение, при котором деформации растут без увеличения нагрузки. Временным сопротивлением (или пределом прочности) σ_B называется отношение наибольшей нагрузки, выдерживаемой образцом до разрушения, к первоначальной площади его сечения.

На представленной диаграмме отметьте характерные точки, которые соответствуют пределу пропорциональности, пределу упругости, пределу текучести, пределу прочности и истинному сопротивлению разрыва.

ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

1. Перед началом испытаний измерить начальный диаметр и начальную длину образца и результаты занести в таблицу. Применяются десятикратные цилиндрические образцы.

Начальный диаметр	$d_0=$
Начальная длина рабочей части образца	$l_0=$
Диаметр в шейке разрушения образца	$d_k=$
Длина рабочей части образца после разрушения	$l_k=$

2. Произвести испытание образца с записью диаграммы растяжения. Определить нагрузки, соответствующие пределу текучести, пределу прочности и точке разрыва.

3. Измерить диаметр в шейке разрушения образца и длину рабочей части образца после разрушения, данные занести в таблицу.

4. Определить площадь поперечного сечения образца до начала испытания A_0 и после A_k :

$$A_0 = \frac{\pi d_0^2}{4}, \quad A_k = \frac{\pi d_k^2}{4}.$$

5. Определить:

предел текучести

$$\sigma_m = \frac{F_m}{A_0};$$

предел прочности (временное сопротивление)

$$\sigma_\sigma = \frac{F_{\max}}{A_0};$$

истинное сопротивление разрыву

$$S_k = \frac{F_k}{A_k};$$

относительное остаточное удлинение

$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} 100\%;$$

относительное остаточное сужение

$$\psi = \frac{A_0 - A_k}{A_0} 100\%.$$

Нагрузки, необходимые для вычисления характеристик прочности, определяются по шкале машины или машинной диаграмме.

6. Полученные результаты занести в таблицу.

Характеристики прочности и пластичности

Наименование характеристики	
Предел текучести, МПа	
Предел прочности, МПа	
Истинное сопротивление разрыву, МПа	
Относительное остаточное удлинение, %	
Относительное остаточное сужение, %	

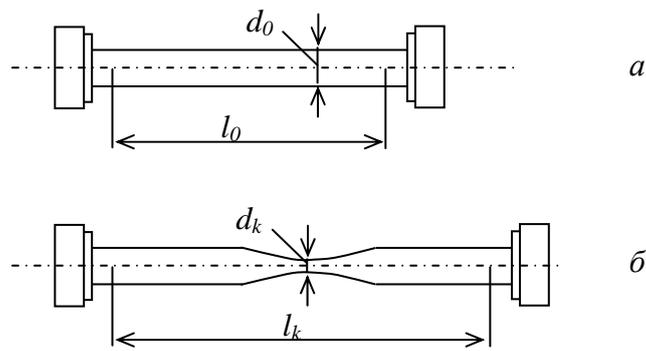


Рис. 1.3

7. Сделать эскиз образца до разрыва (рис. 1.3 ,а) и после разрыва (рис. 1.3, б).

8. Привести в отчете полученную в опыте диаграмму растяжения стали.

ВЫВОДЫ

По определенным в опыте значениям физического предела текучести σ_m , временного сопротивления σ_s , относительного удлинения после разрыва δ , относительного сужения после разрыва ψ по данным справочной литературы установить марку стали, у которой механические свойства близки к полученным.

Лабораторная работа № 2

ИСПЫТАНИЕ СТАЛИ, ЧУГУНА И ДЕРЕВА НА СЖАТИЕ

Цель работы — исследовать поведение пластичных, хрупких и анизотропных материалов при сжатии, определить механические характеристики.

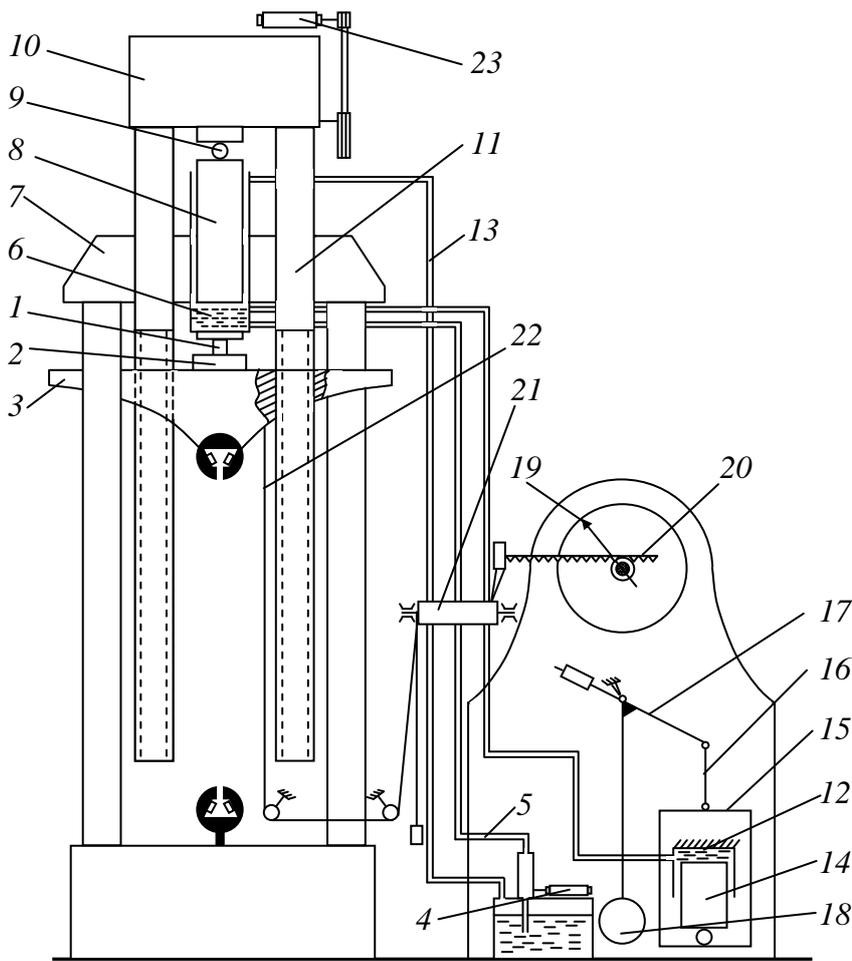
ОБОРУДОВАНИЕ, ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ИНСТРУМЕНТ, ИСПЫТУЕМЫЕ ОБРАЗЦЫ

Испытание на сжатие проводится на универсальной испытательной гидравлической машине модели ГМС-50 (рис. 2.1), создающей наибольшее усилие 500 кН (50 тонн).

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Испытания на сжатие являются основными при определении механических характеристик хрупких материалов. При испытаниях на сжатие различных материалов имеют место характерные отличия: в процессе испытаний пластичные материалы деформируются не разрушаясь, а хрупкие разрушаются; Прочностные характеристики при испытаниях на сжатие зависят от отношения высоты образца к его диаметру, так как на результаты влияют условия трения по торцам образца.

Пластичные материалы. Как уже отмечалось выше, пластичные материалы не удастся разрушить при сжатии. В начале диаграммы сжатия мягкой стали (рис. 2.2) наблюдается пропорциональная зависимость между деформацией и нагрузкой (F — нагрузка, Δh — изменение высоты образца). В процессе дальнейшего нагружения отмечается увеличение деформации при постоянной нагрузке, то есть наблюдается площадка текучести. Отношение нагрузки, соответствующей началу текучести к первоначальной площади поперечного сечения образца называется пределом текучести.



- 1 – образец;
- 2 – предметный столик;
- 3 – подвижная траверса;
- 4 – электродвигатель привода вода насоса;
- 5 – трубопровод;
- 6 – рабочий цилиндр;
- 7 – неподвижная траверса;
- 8 – поршень;
- 9 – шаровая опора;
- 10 – поперечина;
- 11 – тяга;
- 12 – цилиндр силоизмерителя;
- 13 – трубопровод;
- 14 – поршень;
- 15 – рамка;
- 16 – тяга;
- 17 – рычаг;
- 18 – маятник;
- 19 – стрелка;
- 20 – рейка;
- 21 – диаграммный барабан;
- 22 – гибкая нить;
- 23 – электродвигатель привод механизма регулировки по высоте подвижной траверсы)

Рис. 2.1

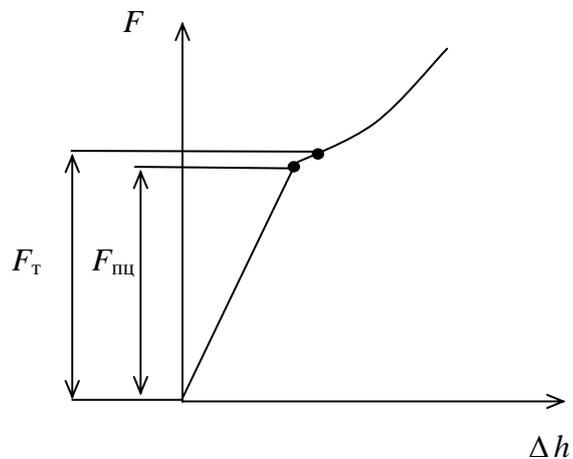


Рис. 2.2

Хрупкие материалы. При сжатии чугунного образца после упругой деформации наблюдается нелинейная зависимость между силой и деформацией. Диаграмма сжатия чугуна $F-\Delta h$ (рис. 2.3) представляет собой линию малой кривизны. Поэтому в практических расчетах считают, что материал подчиняется закону Гука. Отношение разрушающей нагрузки к первоначальной площади поперечного сечения образца называют пределом прочности.

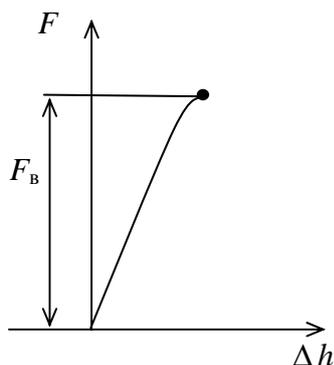


Рис. 2.3

Деревянный образец. Некоторые материалы обладают различными свойствами в различных направлениях. Такие материалы называют анизотропными. Диаграмма сжатия деревянного образца вдоль волокон (рис. 2.4, кривая 1) внешне похожа на диаграмму сжатия хрупкого материала. При достижении наибольшей нагрузки материал разрушается. Предел прочности определяется как отношение наибольшей нагрузки к первоначальной площади поперечного сечения. Диаграмма сжатия образца дерева поперек волокон (рис. 2.4, кривая 2) напоминает диаграмму деформации пластичного материала. Момент потери несущей способности уловить не представляется возможным. Поэтому за разрушающую силу принимается сила, при действии которой размер образца по высоте достигает $1/3$ первоначальной высоты, то есть $\Delta h = h/3$. Прочность образца в первом случае в 7—10 раз выше. Коэффициент анизотропии K характеризует различие механических свойств вдоль и поперек волокон.

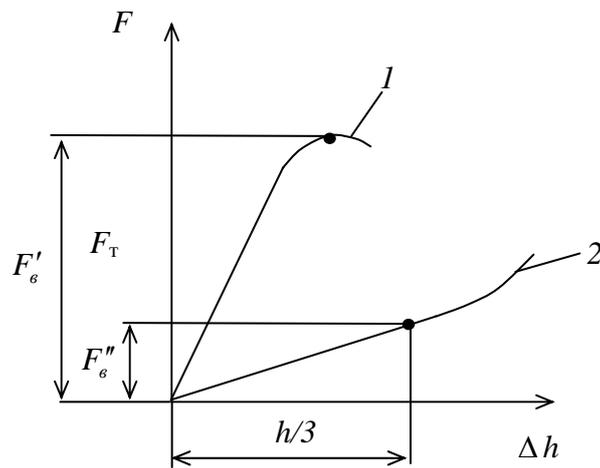


Рис. 2.4

ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА, ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

1. Произвести обмер образцов, выполнить испытания и результаты занести в таблицу.

Материал	Размеры образца, площадь	Эскиз образца	
		до опыта	после опыта
Сталь	$h=$ $d=$ $A_0=$		
Чугун	$h=$ $d=$ $A_0=$		
Дерево вдоль волокон	$h=$ $d=$ $A_0=$		
Дерево поперек волокон	$h=$ $a=$ $A_0=$		

2. Определить:
предел текучести для стали

$$\sigma_m = \frac{F_m}{A_0};$$

предел прочности для чугуна

$$\sigma_{\epsilon} = \frac{F_{\epsilon}}{A_0};$$

предел прочности для дерева вдоль волокон

$$\sigma'_{\epsilon} = \frac{F'_{\epsilon}}{A_0};$$

предел прочности для дерева поперек волокон

$$\sigma''_{\epsilon} = \frac{F''_{\epsilon}}{A_0};$$

коэффициент анизотропии механических свойств дерева

$$K = \frac{\sigma'_{\epsilon}}{\sigma''_{\epsilon}}.$$

ВЫВОДЫ

Отметить отличительные особенности поведения образцов при сжатии пластичных материалов (стали), хрупких материалов (чугуна) и анизотропных материалов (дерева – при испытаниях вдоль и поперек волокон).

Лабораторная работа № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ E , КОЭФФИЦИЕНТА ПУАССОНА μ И МОДУЛЯ УПРУГОСТИ ПРИ СДВИГЕ G

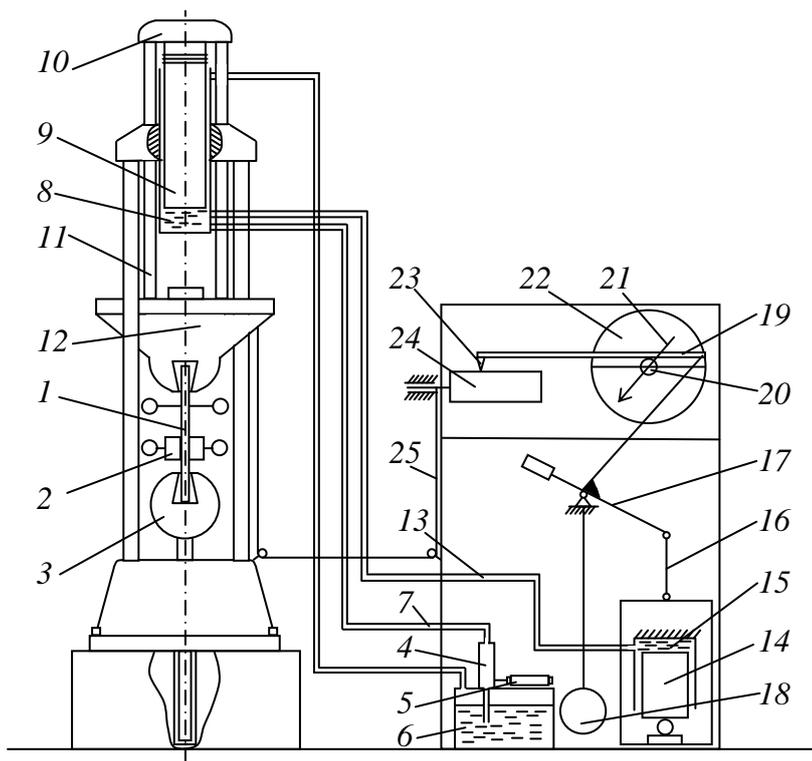
Цель работы — изучение зависимости между нагрузкой и деформацией стержня при растяжении и кручении. Определение модуля упругости при растяжении E , коэффициента Пуассона μ и модуля упругости при сдвиге G . Экспериментальная проверка зависимости между константами упругости E , G и μ .

ОБОРУДОВАНИЕ, ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ, ИСПЫТУЕМЫЕ ОБРАЗЦЫ

Испытание на растяжение проводится на универсальной испытательной машине гидравлического действия типа УММ-20 (рис. 3.1), создающей наибольшее усилие 200 кН (20000 кгс).

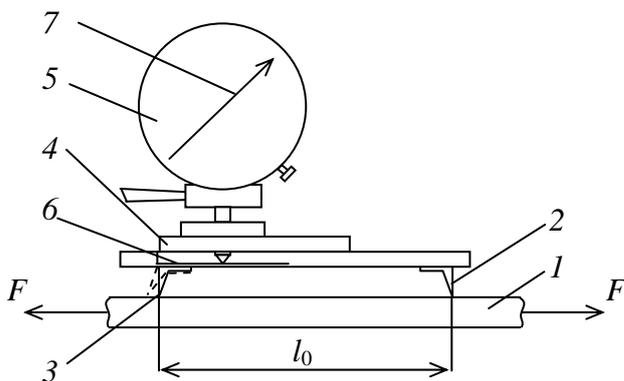
Для определения модуля упругости при растяжении E и коэффициента Пуассона μ используется образец, изготовленный из стального листа (поперечные размеры — 6,7 мм на 132,7 мм). Для измерения линейных деформаций применяется рычажный тензомер (рис. 3.2). Тензомер прижимается к испытуемому образцу I с помощью струбцины, не показанной на схеме.

Определение модуля упругости при сдвиге G производится на установке типа КМ-600, показанной на рис. 3.3. Нагружение образца осуществляется вращением маховика 8. Для измерения угла закручивания применяется торсиомер (рис. 3.4), устанавливаемый на образце I (в данном случае труба, см. рис. 3.3).



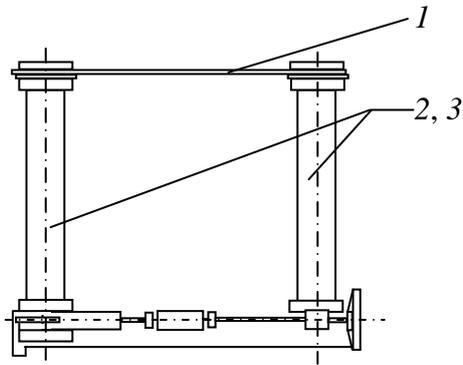
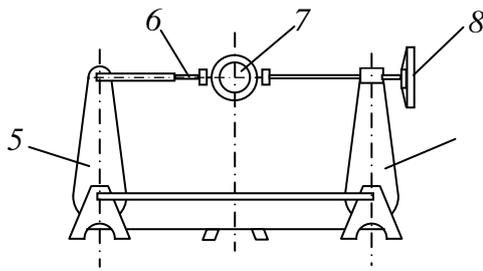
- 1 – испытуемый образец;
- 2 – рычажные тензометры;
- 3 – захваты;
- 4 – насос;
- 5 – электродвигатель;
- 6 – бак;
- 7 – трубопровод к рабочему цилиндру;
- 8 – цилиндр;
- 9 – поршень;
- 10 – поперечина;
- 11 – тяги;
- 12 – подвижная траверса;
- 13 – трубопровод к цилиндру силоизмерителя;
- 14 – поршень;
- 15 – цилиндр силоизмерителя;
- 16 – тяга;
- 17 – рычаг;
- 18 – маятник;
- 19 – зубчатая рейка;
- 20 – зубчатая шестерня;
- 21 – стрелка;
- 22 – шкала;
- 23 – перо;
- 24 – диаграммный барабан;
- 25 – гибкая нить

Рис. 3.1



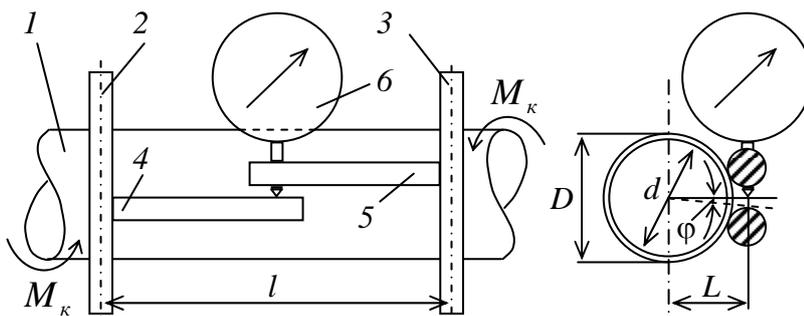
- 1 – испытуемый образец;
- 2 – неподвижная призма;
- 3 – подвижная призма;
- 4 – корпус прибора;
- 5 – индикатор с ценой деления шкалы 0,001 мм;
- 6 – рычаг;
- 7 – стрелка

Рис. 3.2



- 1 – стальная пластина;
- 2 – труба
- 3 – труба;
- 4, 5 – рычаги;
- 6 – винт;
- 7 – динамометр;
- 8 – маховик

Рис. 3.3



- 1 – образец;
- 2, 3 – массивные кольца;
- 4, 5 – рычаги;
- 6 – индикатор с ценой деления 0,01 мм

Рис. 3.4

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Для большинства металлов на начальной стадии нагружения имеет место линейная зависимость между нагрузкой и деформацией стержня, называемая законом Гука. В случае простого растяжения или сжатия

$$\sigma = E\varepsilon,$$

$$\sigma = \frac{F}{A}; \quad \varepsilon = \frac{\Delta l}{l},$$

где σ — нормальное напряжение в поперечном сечении; F — сила, растягивающая (или сжимающая) образец; A — площадь поперечного сечения; ε — от-

носительная продольная деформация; Δl — абсолютная продольная деформация; l — длина бруса; E — модуль упругости при растяжении.

Величина E называется модулем Юнга, является физической постоянной материала и характеризует сопротивляемость материала растяжению (сжатию).

$$\Delta l = \frac{Fl}{EA}.$$

Эту формулу удобно использовать для определения модуля Юнга:

$$E = \frac{Fl}{\Delta l A}.$$

Для экспериментального определения модуля Юнга надо загрузить силой F и при этом измерить удлинение образца Δl .

Коэффициентом Пуассона μ называют абсолютную величину отношения относительной поперечной деформации ε' к относительной продольной ε :

$$\mu = \left| \frac{\varepsilon'}{\varepsilon} \right|.$$

Для различных материалов коэффициент Пуассона принимает значения в интервале $0 \dots 0,5$. Как и модуль упругости, коэффициент Пуассона характеризует упругие свойства материала. Для экспериментального определения μ надо при действии на образец силы измерять продольную и поперечную деформации.

В случае деформации сдвига на начальной стадии нагружения существует линейная зависимость между силой и абсолютным сдвигом или между касательным напряжением τ и углом сдвига γ . Эта зависимость называется законом Гука при сдвиге:

$$\tau = G\gamma.$$

Коэффициент пропорциональности G называется модулем упругости при сдвиге. Он является физической постоянной материала и характеризует способность материала сопротивляться упругим деформациям. Выражается модуль сдвига в единицах напряжения.

Экспериментальное изучение деформации сдвига удобно проводить путем кручения тонкостенного трубчатого образца. Деформацию кручения можно представить как результат сдвигов поперечных сечений относительно друг друга. Прикладывая к трубчатому образцу крутящий момент M_k и измеряя угол закручивания образца φ , можно экспериментально проверить справедливость закона Гука при кручении, а также определить модуль упругости. Формула закона Гука при кручении имеет вид

$$\varphi = \frac{M_k l}{GI_p},$$

где M_k — крутящий момент; l — длина стержня, на которой определяется угол закручивания φ ; G — модуль сдвига; I_p — полярный момент инерции

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

где D — наружный диаметр сечения трубы; d — внутренний диаметр.

Можно определить значение модуля сдвига G :

$$G = \frac{M_k l}{\varphi I_p}.$$

Три константы упругости материала: E — модуль упругости при растяжении, μ — коэффициент Пуассона, G — модуль упругости при сдвиге — связаны между собой соотношением

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)}.$$

Эта зависимость подтверждается экспериментально.

ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА И ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

1. Вычислить площадь поперечного сечения испытуемого образца A (см²).
2. Загрузить образец и записать показания индикаторов в таблицу:

Нагрузка F	Степень нагрузки	Показания индикаторов			
		Продольные деформации		Поперечные деформации	
		Отсчет	Разность отсчетов	Отсчет	Разность отсчетов
Среднее приращение					

3. Вычислить относительные продольную и поперечную деформации на ступень нагрузки

$$\varepsilon = \frac{\Delta_{cp}}{1000l_0K}, \quad \varepsilon' = \frac{\Delta'_{cp}}{1000l_0K},$$

где $K=1,25$; $l_0=100$ мм.

4. По найденным из опыта продольной и поперечной деформациям вычислить коэффициент Пуассона

$$\mu = \left| \frac{\varepsilon'}{\varepsilon} \right| = \left| \frac{\Delta B_{cp}}{\Delta A_{cp}} \right|.$$

5. Используя значение продольной деформации ε , площади поперечного сечения A и величины нагрузки на ступень ΔF определить величину модуля Юнга

$$E = \frac{\Delta F l_0}{\Delta A}.$$

6. По результатам эксперимента построить график зависимости $F-\Delta l$ (рис. 3.5).

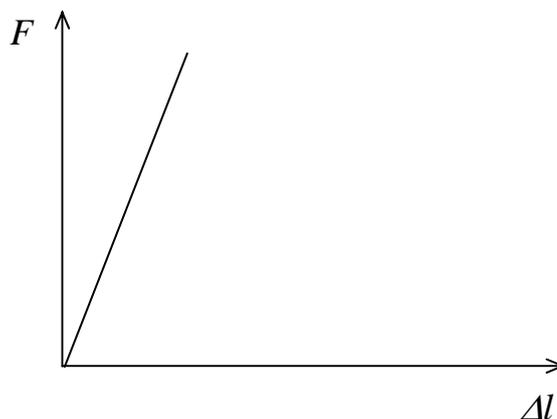


Рис. 3.5

7. Для определения модуля сдвига G загрузить образец и записать показания индикаторов в таблицу

Нагрузка F	Степень нагрузки	Отсчет	Разность отсчетов	Крутящий момент M_k	Крутящий момент на ступень нагружения ΔM_k	Угол закручивания φ	Угол закручивания на ступень нагружения $\Delta\varphi$

8. Определить крутящий момент на ступень нагружения ΔM_k

$$\Delta M_k = \Delta FH,$$

где $H=0,3$ м.

9. Определить угол закручивания на ступень нагружения

$$\Delta\varphi = \frac{\Delta_{cp}}{100l},$$

где $l=75$ мм.

10. Определить полярный момент инерции поперечного сечения трубы

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

где $D=100$ мм, $d=96$ мм.

11. Рассчитать модуль упругости при сдвиге

$$G = \frac{\Delta M_k L}{\Delta\varphi I_p},$$

где $L=40$ см.

12. Найти крутящий момент $M_k=FN$, угол закручивания $\varphi = \frac{M_k L}{GI_p}$ и за-

полнить таблицу.

13. По результатам таблицы построим график зависимости M_k – по φ (рис. 3.6).

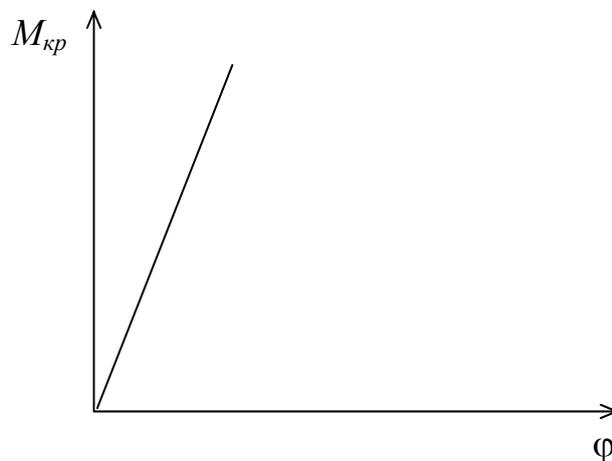


Рис. 3.6

14. Проверить соотношение между E , G и μ , полученных экспериментально

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)}.$$

ВЫВОДЫ

Сравнить полученные в опыте значения модуля Юнга E , модуля сдвига G и коэффициента Пуассона μ с табличными значениями, взятыми из справочной литературы. Установить соответствие между ними. Значение модуля сдвига G сравнить с полученными из уравнения $G = \frac{E}{2(1 + \mu)}$, т. е. проверить справедливость зависимости между E , G и μ .

Лабораторная работа № 4

ИСПЫТАНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ БАЛКИ НА ИЗГИБ С ПРОВЕРКОЙ ОСНОВНЫХ ГИПОТЕЗ И ОПРЕДЕЛЕНИЕМ НОРМАЛЬНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

Цель работы — опытная проверка основных гипотез и теоретической формулы сопротивления материалов для определения нормальных напряжений.

ОБОРУДОВАНИЕ, ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ, ИСПЫТУЕМЫЕ ОБРАЗЦЫ

Стальная балка прямоугольного поперечного сечения устанавливается на траверсе испытательной машины *FM-500*, представленной на рисунке 4.1.



Рис. 4.1

На рис. 4.2, где a — распределительная и испытываемая балки; b — расчетная схема испытываемой балки; v — эпюра поперечных сил; z — эпюра изгибающих моментов, через распределительную балку при помощи двух цилиндрических шарниров нагрузка передается на испытываемую двухконсольную балку.

Балка имеет размеры поперечного сечения: ширину $b=19,7$ мм, высоту $h=37,5$ мм. Размер $a=0,2$ м.

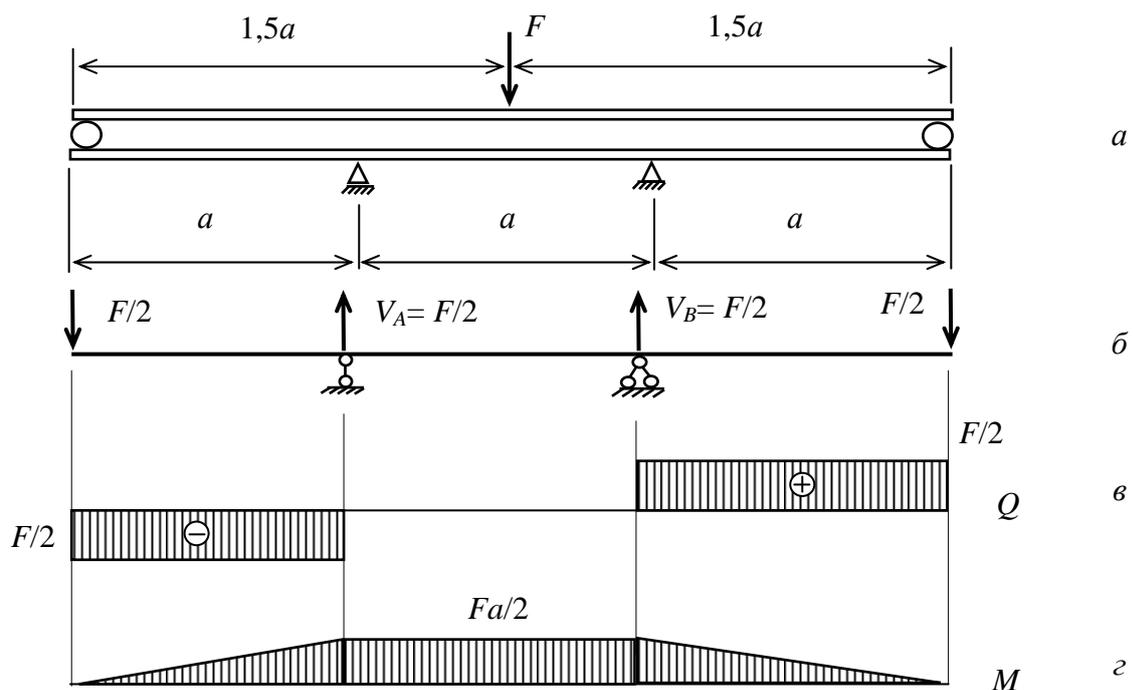


Рис. 4.2

На гранях испытываемой балки наклеены проволочные тензодатчики, схема наклейки представлена на рис. 4.3. Тензодатчики по полумостовой схеме соединены с цифровым измерителем деформаций ИДЦ-1 (рис. 4.4).

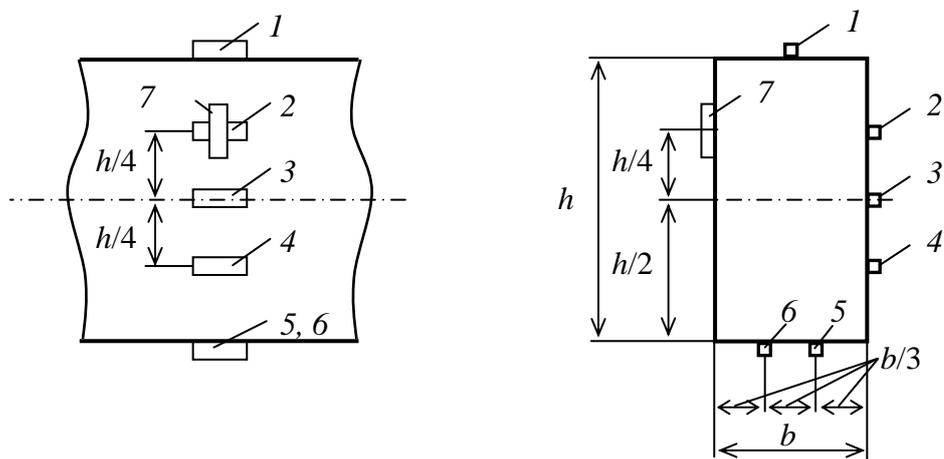


Рис. 4.3

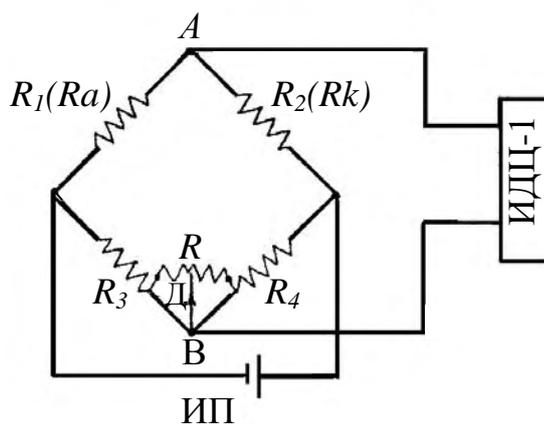


Рис. 4.4

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

В данной работе проверяются следующие гипотезы:

1) гипотеза плоских сечений (гипотеза Бернулли), согласно которой поперечные сечения балки, плоские и перпендикулярные к геометрической оси балки до деформации, остаются плоскими после деформации;

2) гипотеза об отсутствии боковых давлений, согласно которой отдельные продольные волокна балки испытывают только одноосное растяжение или сжатие;

3) гипотеза постоянства напряжений по ширине поперечного сечения, согласно которой напряжения для точек, равноудаленных от нейтрального слоя равны между собой.

Формула сопротивления материалов для определения нормальных напряжений при изгибе

$$\sigma = \frac{M}{I_x} y,$$

где M — изгибающий момент; y — ордината точки поперечного сечения, в которой определяется напряжение; I_x — осевой момент инерции поперечного сечения.

5. Результаты теоретического и экспериментального определения прироста напряжения для ступени нагружения по высоте поперечного сечения занести в таблицу.

№ датчиков	Разность отсчетов на ступень нагружения	Прирост напряжений, МПа		Расхождение результатов $\delta = \frac{\Delta\sigma_i^{экс} - \Delta\sigma_i^{теор}}{\Delta\sigma_i^{теор}} 100\%$
		экспериментально	теоретически	
1				
2				
3				
4				
5				
6				

6. Построить по данным таблицы эпюры нормальных напряжений по высоте поперечного сечения $\Delta\sigma_i^{теор}$ и $\Delta\sigma_i^{экс}$. Если для каждой точки расхождение экспериментальных и теоретических напряжений не превышает 5 %, то гипотеза плоских сечений подтверждается.

7. Определить коэффициент Пуассона

$$\mu = \frac{\left| \varepsilon^{non} \right|}{\left| \varepsilon^{прод} \right|} = \frac{\left| \Delta n_{7,ср} \right|}{\left| \Delta n_{2,ср} \right|}.$$

Если полученное значение коэффициента μ находится в пределах $0,25 \leq \mu \leq 0,3$, то гипотеза об отсутствии боковых давлений подтверждается.

8. Сравнить абсолютные величины приращения напряжений в точках 1, 5, 6 между собой. Если расхождение этих значений не превышает 5 %, то гипотеза о постоянстве напряжений по ширине поперечного сечения подтверждается.

ВЫВОДЫ

Проанализировать справедливость основных гипотез, принятых при выводе формулы для определения нормальных напряжений при изгибе: гипотеза плоских сечений, гипотеза постоянства напряжений по ширине поперечного

сечения, гипотеза отсутствия боковых давлений. На основе определения процента расхождения между расчетными и экспериментальными значениями установить справедливость формулы сопротивления для определения нормальных напряжений при изгибе.

Лабораторная работа № 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ПРИ ИЗГИБЕ БАЛОК

Цель работы — экспериментальная проверка теоретических формул сопротивления материалов для определения величин прогиба и угла поворота балки.

ОБОРУДОВАНИЕ, ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ, ИСПЫТУЕМЫЕ ОБРАЗЦЫ

Установки для определения перемещений в балках типа СМБ и СМ4А (рис. 5.1 и рис. 5.2), индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм.

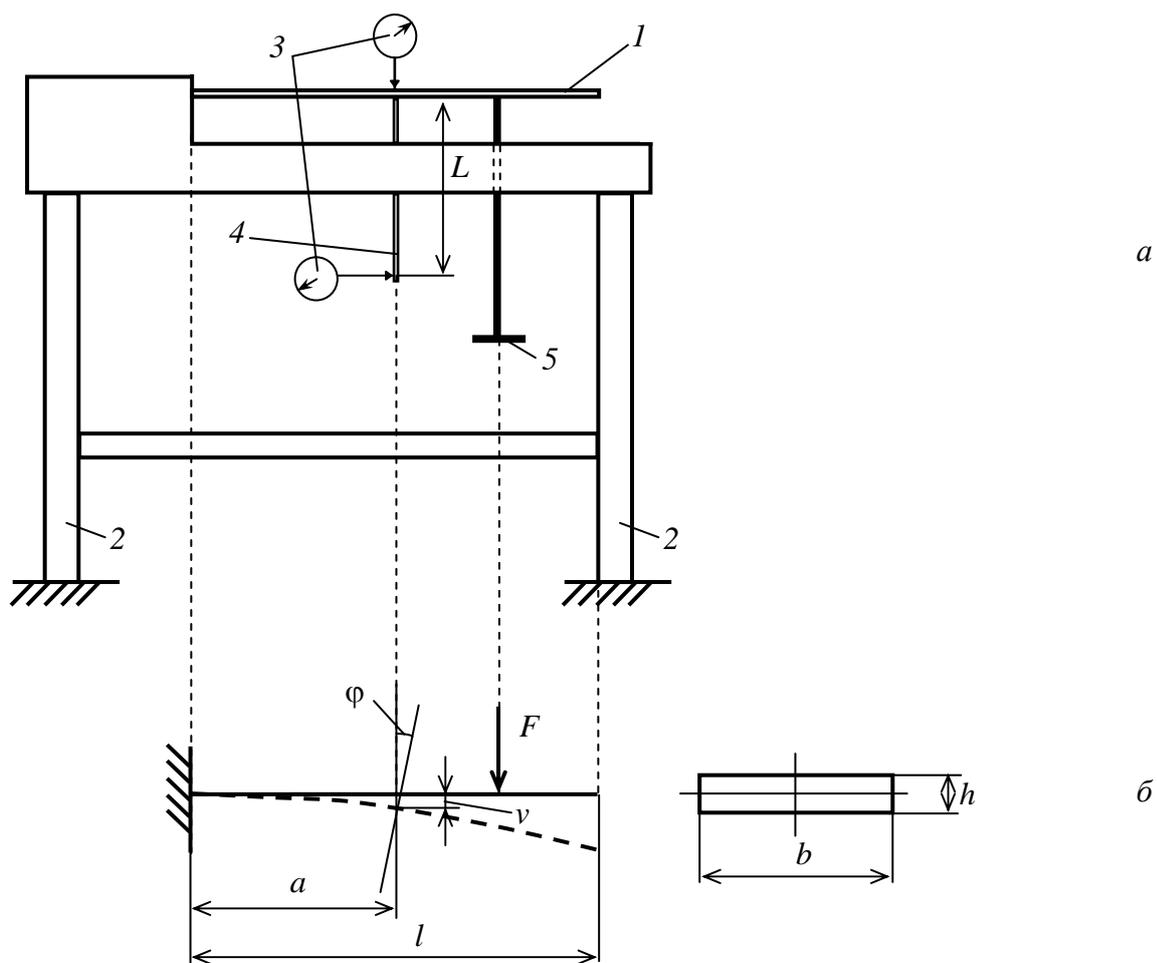


Рис. 5.1

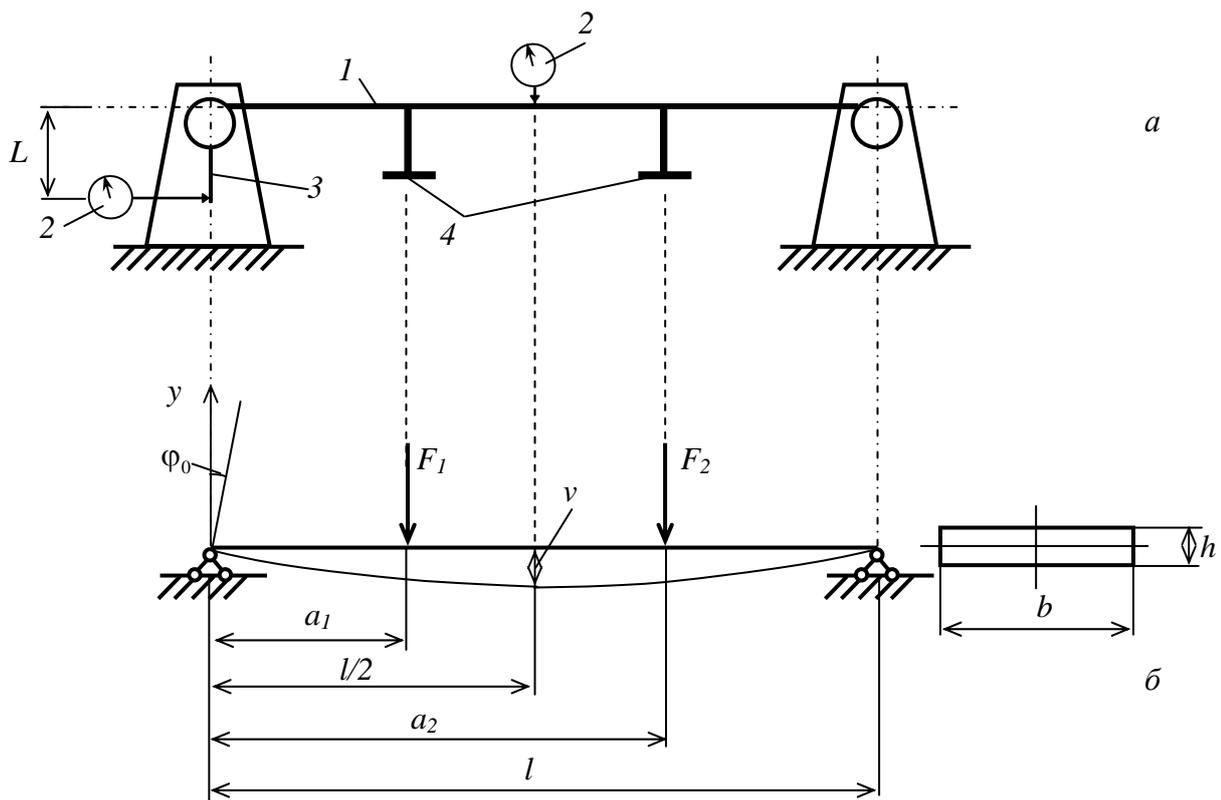


Рис. 5.2

Установка СМБ для определения перемещений в консольной балке (рис. 5.1, а) включает: испытуемый образец 1, опорные стойки 2, индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм 3, рычаг 4; гиревой подвес 5.

Балка имеет следующие размеры поперечного сечения: $b=49,5$ мм, $h=9$ мм. Материал балки – сталь, $E=200$ ГПа. Расчетная схема показана на рис. 5.1, б.

Установка СМ4А для определения перемещений в двухопорной балке (рис. 5.2, а) включает: испытуемый образец 1, индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм 2, рычаг 3, гиревой подвес 4.

Балка имеет следующие размеры поперечного сечения: $b=39,05$ мм, $h=6,84$ мм.

Материал балки — сталь, $E=210$ ГПа. Расчетная схема показана на рис. 5.2, б.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

В теоретической части необходимо расчетным путем определить прогиб и угол поворота в заданном сечении. Для этого используются универсальные уравнения прогибов и углов поворота сечения:

$$v = v_0 + \varphi_0 z + \frac{1}{EI} \left(\frac{\sum_{i=1}^n M_i (z - z_M)^2}{2} + \frac{\sum_{i=1}^n F (z - z_F)^3}{6} + \frac{\sum_{i=1}^n q (z - z_q)^4}{24} \right) + \sum_{i=1}^n \Delta \varphi_{u_i} (z - z_{u_i}),$$

$$\varphi = \varphi_0 + \frac{1}{EI} \left(\frac{\sum_{i=1}^n M_i (z - z_M)}{1} + \frac{\sum_{i=1}^n F (z - z_F)^2}{2} + \frac{\sum_{i=1}^n q (z - z_q)^3}{6} \right) + \sum_{i=1}^n \Delta \varphi_{u_i},$$

где v — прогиб сечения, заданного абсциссой z ; φ — угол поворота сечения, заданного абсциссой z ; φ_0, v_0 — угол поворота и прогиб сечения в начале координат; E — модуль Юнга; I — осевой момент инерции; M — пара сил; F — сосредоточенная сила; q — интенсивность распределенной нагрузки; z — координата, для которой определяется прогиб и угол поворота сечения; z_M, z_F — координата точек приложения пары сил и сосредоточенной силы; z_q — координата начала действия распределенной нагрузки; z_{u_i} — координата сечения, где установлен промежуточный шарнир.

ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Загрузить испытуемые балки, выполнить испытания и результаты занести в таблицы.

Консольная балка

l	a	F	Прогиб v			Угол поворота φ		
			Расч.	Эксп.	% расхож.	Расч.	Эксп.	% расхож.
м	м	Н						

Двухопорная балка

l	a	F_1	F_2	Прогиб v			Угол поворота φ		
м	м	Н	Н	Расч.	Эксп.	% расхож.	Расч.	Эксп.	% расхож.

ВЫВОДЫ

Используя данные по проценту расхождения между расчетными и экспериментальными значениями, отметить справедливость методов сопротивления материалов для определения перемещений при изгибе (прогиба и угла поворота сечения).

Лабораторная работа № 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПОРНОГО МОМЕНТА В СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМОЙ БАЛКЕ

Цель работы — экспериментальная проверка методов расчета статически неопределимой балки

ОБОРУДОВАНИЕ, ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ, ИСПЫТУЕМЫЕ ОБРАЗЦЫ

Установка для определения опорного момента в статически неопределимой балке типа СМ11А (рис. 6.1), индикатор часового типа с ценой деления 0,01 мм.

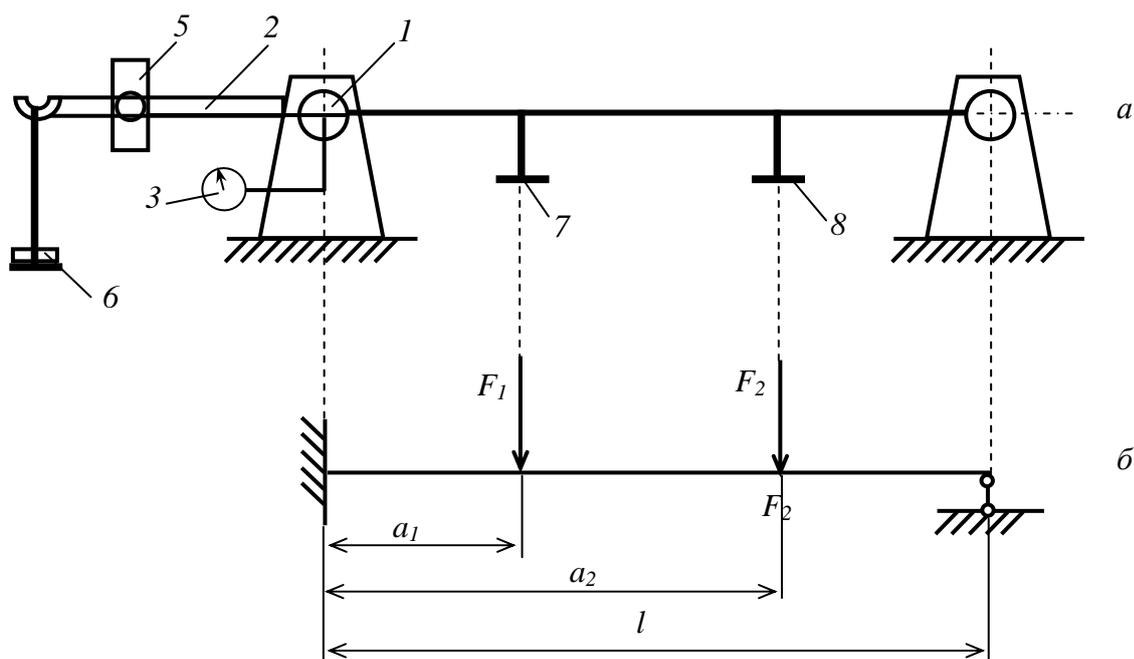


Рис. 6.1

Установка СМ11А (рис. 6.1, а) включает: шарнирно-неподвижная опора 1, рычаг 2, индикатор часового типа с ценой деления 0,01 мм 3, ножка индикатора 4, подвижный груз 5, съемная гиря на подвесе б, гиревые подвесы 7, 8.

Балка имеет следующие размеры поперечного сечения: $b = 39,73$ мм, $h = 2,91$ мм.

Материал балки — сталь, $E = 210$ ГПа. Расчетная схема показана на рис. 6.1, а.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

В теоретической части выполняется определение опорного момента с помощью канонических уравнений метода сил. Для один раз статически неопределимой балки имеем

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

$$\text{где } \delta_{11} = \sum \int_0^l \frac{\bar{M}_1 \bar{M}_1}{EI} dz, \quad \Delta_{1F} = \sum \int_0^l \frac{M_F \bar{M}_1}{EI} dz.$$

ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Загрузить испытуемую балку, провести испытание и результаты занести в таблицу.

a_1 , м	a_2 , м	l , м	F_1 , Н	F_2 , Н	Опорный момент M_A , Н·м		
					Расчет.	Экспер.	% расхождения

Опорный момент определяется по формуле:

$$|M_A| = Q_2 c_2 + Q_1 c_1 - Q_1 c_0,$$

где $c_0 = 5,5$ см, c_1 определяется из эксперимента, $c_2 = 33,5$ см, $Q_1 = 1$ кг, Q_2 определяется из эксперимента.

ВЫВОДЫ

По результатам расчетного и экспериментального определения опорного момента в жесткой заделке статически неопределимой балки установить справедливость примененных методов расчета статически неопределимых систем.

Лабораторная работа № 7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ВНЕЦЕНТРЕННОМ РАСТЯЖЕНИИ

Цель работы: 1) изучение распределения напряжений по поперечному сечению бруса при внецентренном растяжении и сопоставление с напряженным состоянием, описываемым теоретической моделью деформирования; 2) построение нейтральной линии при внецентренном растяжении бруса.

ОБОРУДОВАНИЕ, ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ, ИСПЫТУЕМЫЕ ОБРАЗЦЫ

Для определения напряжений при внецентренном растяжении служат универсальная испытательная машина с электромеханическим приводом типа УМ-5А (рис. 7.1), создающая наибольшее усилие 50 кН (5000 кгс), и измеритель деформаций цифровой ИДЦ-1. В состав установки входят: шкала 1, нить 2, каретка 3, карандаш 4, диаграммный барабан 5, коробка передач 6, поводок 7, верхняя траверса 8, лента 9, кулачок 10, масляный амортизатор 11, тарный груз 12, рейка 13, 14; кронштейн 15, грузовая гайка 16, червячная пара 17, верхний захват 18, нижний захват 19, подвижная траверса 20, червяк 21, червячное колесо 22, ходовой винт 23, подшипник 24, пружина 25, промежуточный рычаг 26, главный рычаг 27, коробка перемены передач 28, электродвигатель типа АО 32-4/2 мощностью 0,75/1,0 кВт 29.

Вид и поперечное сечение испытуемого образца представлены на рис. 7.2, где 1 — специальные захваты; 2 — шарик; 3 — упорные элементы образца.

Балка имеет следующие размеры поперечного сечения: ширину $b=12$ мм, высоту $h=45$ мм.

Материал балки: сталь Ст3. Модуль упругости $E=210$ ГПа.

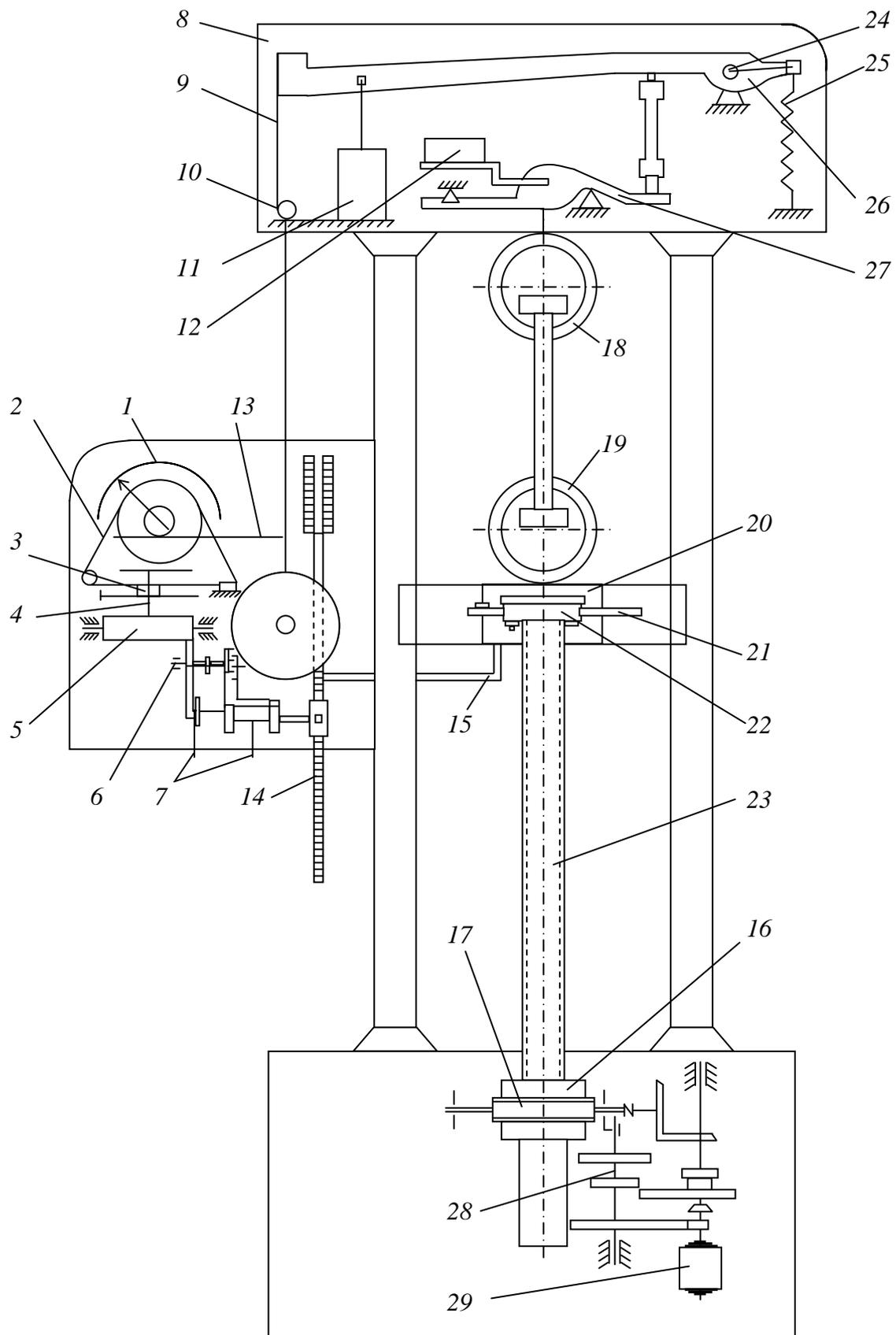


Рис. 7.1

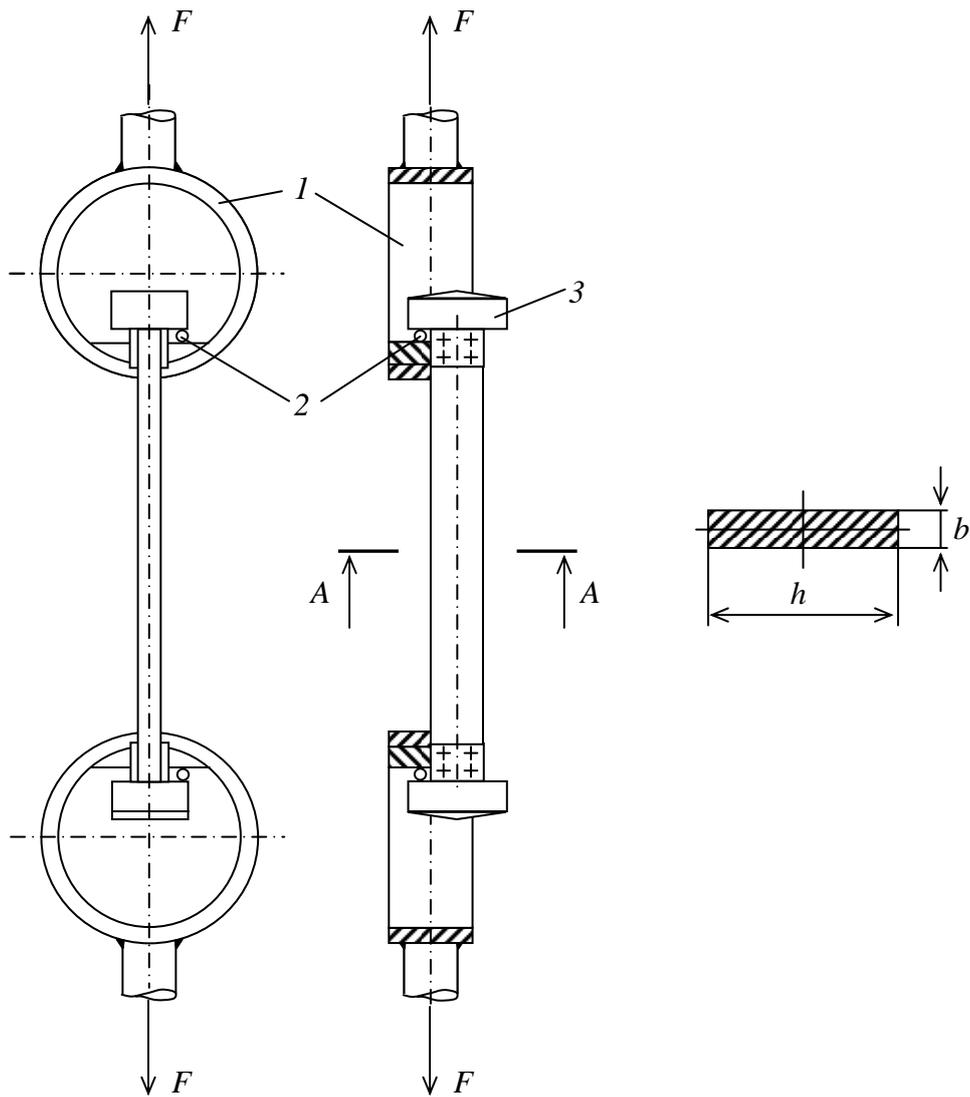


Рис. 7.2

На рис. 7.3 показан вид проволочных тензодатчиков, включенных по полумостовой и электрической схемам.

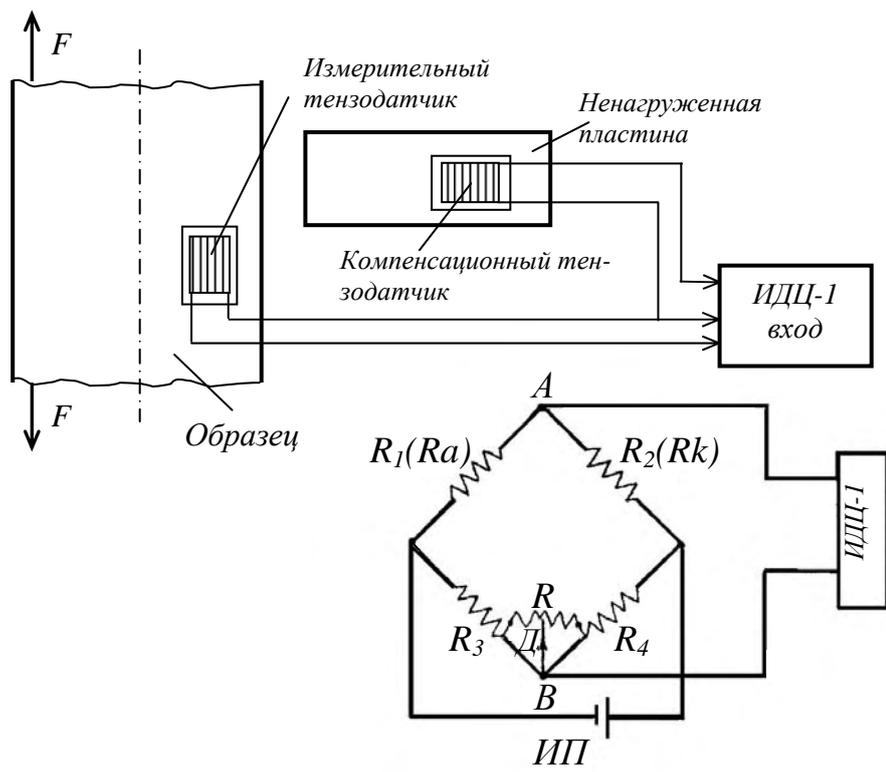
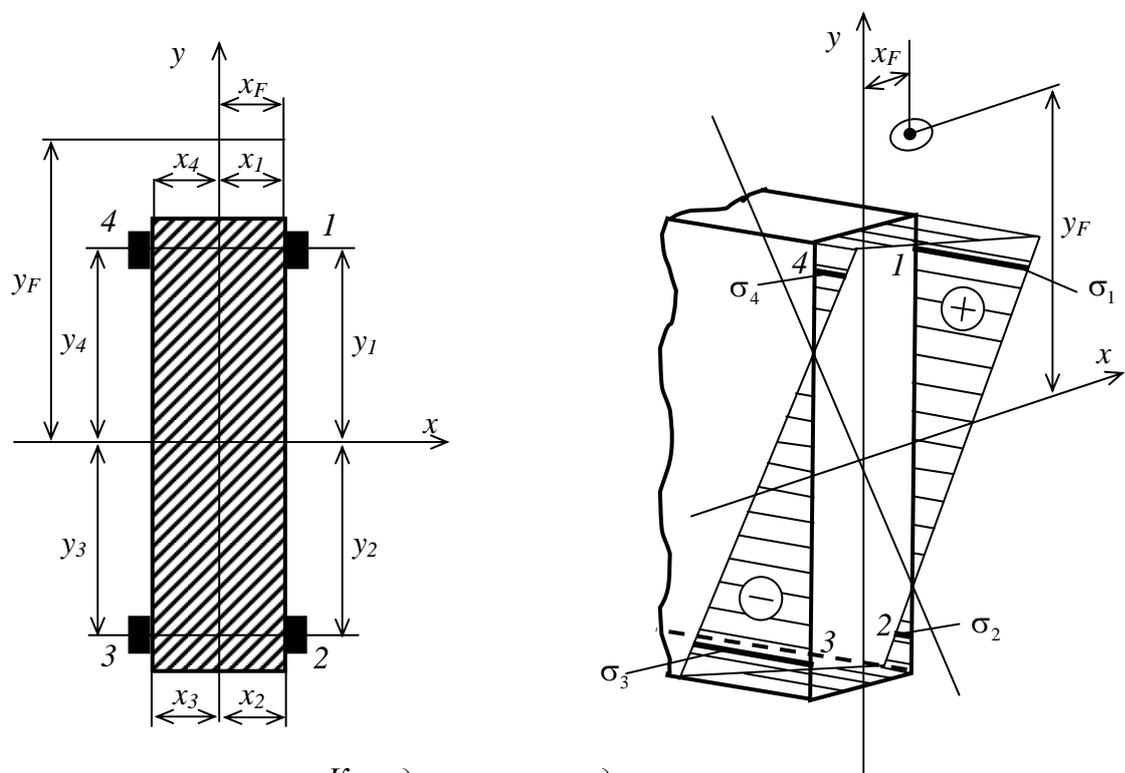


Рис. 7.3



Координаты тензодатчиков, см

x_1	x_2	x_3	x_4
0,6	0,6	-0,6	-0,6
y_1	y_2	y_3	y_4
1,47	-1,46	-1,69	1,8

Рис. 7.4

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

При внецентренном действии сосредоточенной продольной силы нормальное напряжение в любой точке поперечного сечения определяется по формуле

$$\sigma = \frac{F}{A} \left[1 + \frac{x_F x}{i_y^2} + \frac{y_F y}{i_x^2} \right],$$

где F — величина действующей силы, A — площадь поперечного сечения, x_F , y_F — координаты точки приложения силы, i_y^2 , i_x^2 — квадраты радиусов инерции, x , y — координаты точки, в которой определяется напряжение.

ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

№ датчиков		1	2	3	4		
Нагрузка		Показания ИДЦ-1					
Кн	Кн	Безразмерно					
Среднее значение на ступень нагружения							

Сравнение результатов испытаний

Измеряемые параметры	№ датчиков (точек)			
	1	2	3	4
Средняя разность показаний ИДЦ-1 на ступень нагружения				
Деформация в точке на ступень нагрузки				
Экспериментальное напряжение в точке на ступень нагрузки				
Расчетное значение напряжения в точке на ступень нагрузки				
Расхождение расчетной и экспериментальной величин напряжений				

ВЫВОДЫ

На основе определения процента расхождения между расчетными и экспериментальными значениями установить справедливость формулы сопротивления материалов для определения нормальных напряжений при внецентренном растяжении или сжатии.

Лабораторная работа № 8

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ БАЛКИ ПРИ КОСОМ ИЗГИБЕ

Цель работы — экспериментальная проверка теоретических формул сопротивления материалов для определения величины прогиба балки при косом изгибе и положения плоскости прогиба.

ОБОРУДОВАНИЕ, ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ, ИСПЫТУЕМЫЕ ОБРАЗЦЫ

Для исследования деформаций консольной балки при косом изгибе служат установка типа СМ8М (рис. 8.1) и индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм.

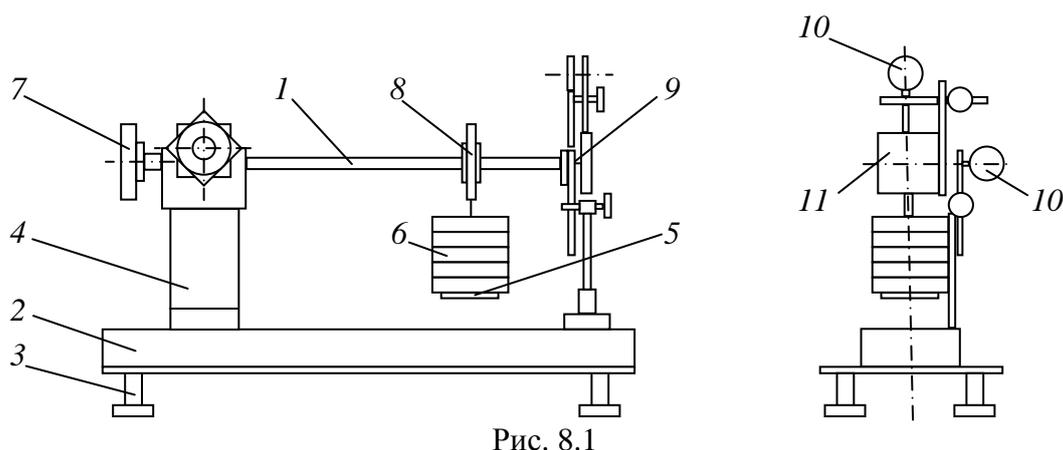


Рис. 8.1

В состав испытательной установки СМ8М входят: исследуемый образец — *1*; основание — *2*; ножки — *3*; неподвижная опора — *4*; гиревой подвес — *5*; набор грузов — *6*; шкала — *7*; подвеска — *8*; втулка с кольцевым выступом и иглой — *9*; индикатор часового типа с ценой деления 0,01 мм — *10*; шкала — *11*.

Балка имеет следующие размеры поперечного сечения: ширину $b=6,98$ мм, высоту $h=31,9$ мм.

Материал балки – сталь Ст.3. Модуль упругости $E=210$ ГПа. Моменты

инерции сечения $I_x = \frac{bh^3}{12}$, $I_y = \frac{hb^3}{12}$.

На рис. 8.2 изображена схема для определения прогиба и положение нейтральной линии расчетным способом, на рис. 8.3 – схема для определения прогиба и положения плоскости прогиба экспериментальным путем.

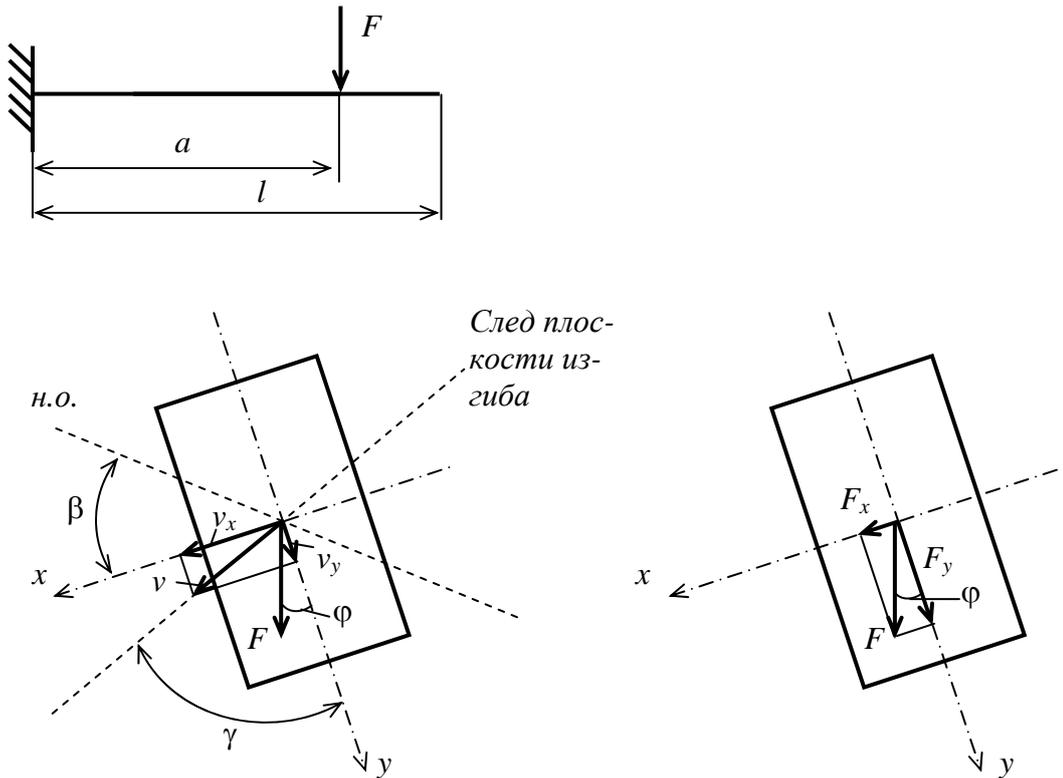


Рис. 8.2

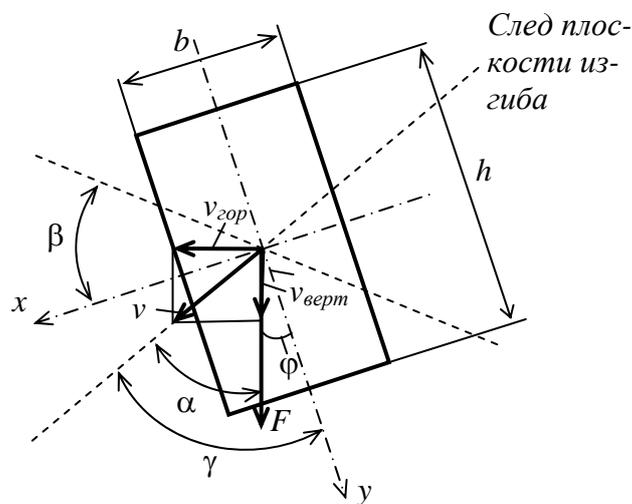


Рис. 8.3

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

При косом изгибе полный прогиб свободного конца балки определяется по формуле

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2},$$

где v_x и v_y могут быть определены следующим образом

$$v_x = \frac{F \sin \varphi a^2 (3l - a)}{6EI_y}, \quad v_y = \frac{F \cos \varphi a^2 (3l - a)}{6EI_x}.$$

Положение плоскости полного прогиба определяется углом γ

$$\gamma = \frac{v_x}{v_y} = \operatorname{tg} \varphi \frac{I_x}{I_y}.$$

ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Результаты испытаний

№ п/п	Нагрузка, Н		Показания индикаторов					
	F	ΔF	$v_{\text{гор}}$	$\Delta v_{\text{гор}}$	$v_{\text{верт}}$	$\Delta v_{\text{верт}}$	$v_{\text{эксп}}$	$\Delta v_{\text{эксп}}$
1								
2								

Определения положения плоскости прогиба

F , Н	φ , град.	$v_{\text{гор}}$	$v_{\text{верт}}$	$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v_{\text{гор}}}{v_{\text{верт}}}$	α , град.	$\gamma_{\text{эксп}} = \alpha + \varphi$

Сравнение результатов

$V_{\text{теор}}$, мм	$V_{\text{эксп}}$, мм	расхождение, %	$\gamma_{\text{теор}}$, град.	$\gamma_{\text{эксп}}$, град.	расхождение, %

ВЫВОДЫ

На основе определения процента расхождения между расчетными и экспериментальными значениями установить справедливость формулы сопротивления материалов для определения полного прогиба и положения плоскости прогиба при косом изгибе.

Лабораторная работа № 9

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ИЗГИБЕ КРИВОГО БРУСА

Цель работы — экспериментальное изучение распределения нормальных напряжений в сечении кривого бруса при изгибе и сравнении полученных результатов с теоретическими значениями. В работе рассматривается изгиб бруса, ось которого очерчена по дуге окружности радиуса ρ .

ОБОРУДОВАНИЕ, ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ, ИСПЫТУЕМЫЙ ОБРАЗЕЦ

Универсальная испытательная машина с электромеханическим приводом типа УМ-5А (рис. 7.1), создающая наибольшее усилие 50 кН (5000 кгс); измеритель деформаций цифровой ИДЦ-1 (рис. 7.3).

На рис. 9.1 представлена силовая схема и поперечное сечение кривого бруса, на рис. 9.2 — схема установки тензодатчиков.

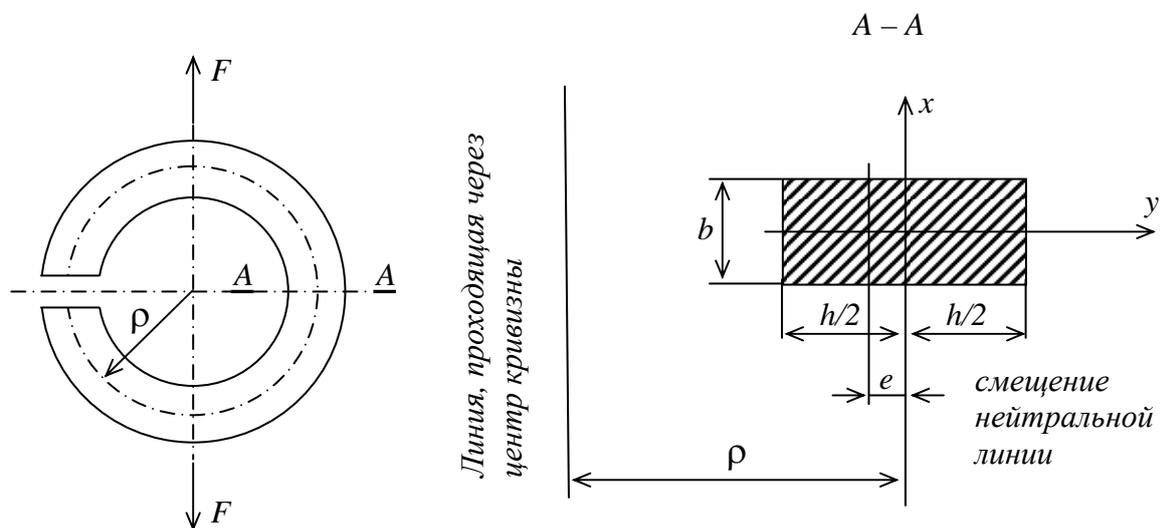


Рис. 9.1

Материал кривого бруса — сталь Ст3, $E=200$ ГПа. Ширина сечения $b=2,5$ см. Высота сечения $h=12$ см. Площадь поперечного сечения $A=30$ см². Радиус кривизны: $\rho=14$ см.

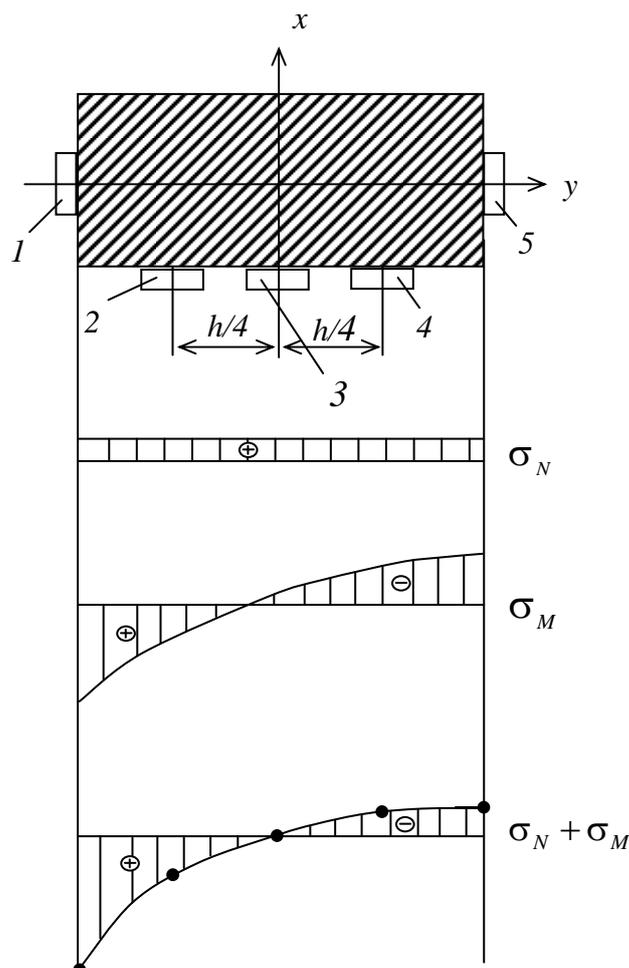


Рис. 9.2

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Нормальные напряжения изменяются по гиперболическому закону и определяются по следующей формуле (в главных центральных осях инерции)

$$\sigma = \frac{M}{e \cdot A} \cdot \frac{e + y}{\rho + y} + \frac{N}{A},$$

где e — эксцентриситет, определяющий положение нейтральной оси; y — расстояние до рассматриваемого волокна; ρ — радиус кривизны бруса; A — площадь поперечного сечения.

Для прямоугольного поперечного сечения положение нейтральной оси определяется из следующего выражения

$$e = \frac{I_x}{\rho \cdot A},$$

где $I_x = \frac{bh^3}{12}$ — осевой момент инерции.

ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Экспериментальные данные

№ датчиков		1	2	3	4	5				
№ опыта	Нагрузка	Показания датчиков								
1										
2										
3										
Среднее значение на ступень нагружения										

Сравнение результатов

№ датчиков	$\sigma_{\text{теор}}$, МПа	$\sigma_{\text{эксп}}$, МПа	Расхождение, %
1			
2			
3			
4			
5			

ВЫВОДЫ

На основе определения процента расхождения между расчетными и экспериментальными значениями установить справедливость формулы сопротивления материалов для определения нормальных напряжений при изгибе кривого бруса с учетом действия изгибающего момента и продольной силы.

Лабораторная работа № 10

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОДОЛЬНОГО ИЗГИБА

Цель работы — экспериментальное определение критической силы для центрального сжатого прямого стержня при различных способах его закрепления и сравнение полученных результатов с теоретическими значениями.

ОБОРУДОВАНИЕ И ОБРАЗЕЦ

Испытательная установка для исследования продольного изгиба образца представлена на рис. 10.1, где 1 — образец; 2, 3 — опорные стаканы; 4, 5 — винты; 6 — стойка; 7 — индикатор; 8 — винтовой механизм.

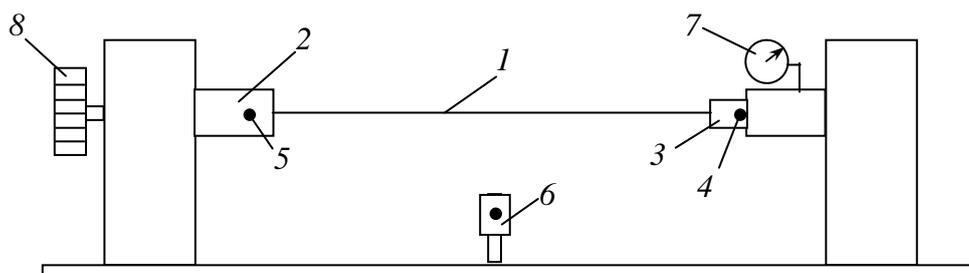


Рис. 10.1

Образец представляет собой стержень, выполненный из Ст. 45, $E=200$ ГПа. Длина стержня $l=500$ мм, ширина сечения $b=35$ мм, высота сечения $h=2$ мм.

С помощью опорных стаканов 2, 3 можно реализовать различные варианты закрепления стержня: шарнирное опирание, жесткая заделка. Эти варианты закреплений и соответствующие им значения коэффициента Пуассона μ показаны на рис. 10.2. При загрузении образца нагрузка в ньютонах определяется по тарировочному графику (рис. 10.3).

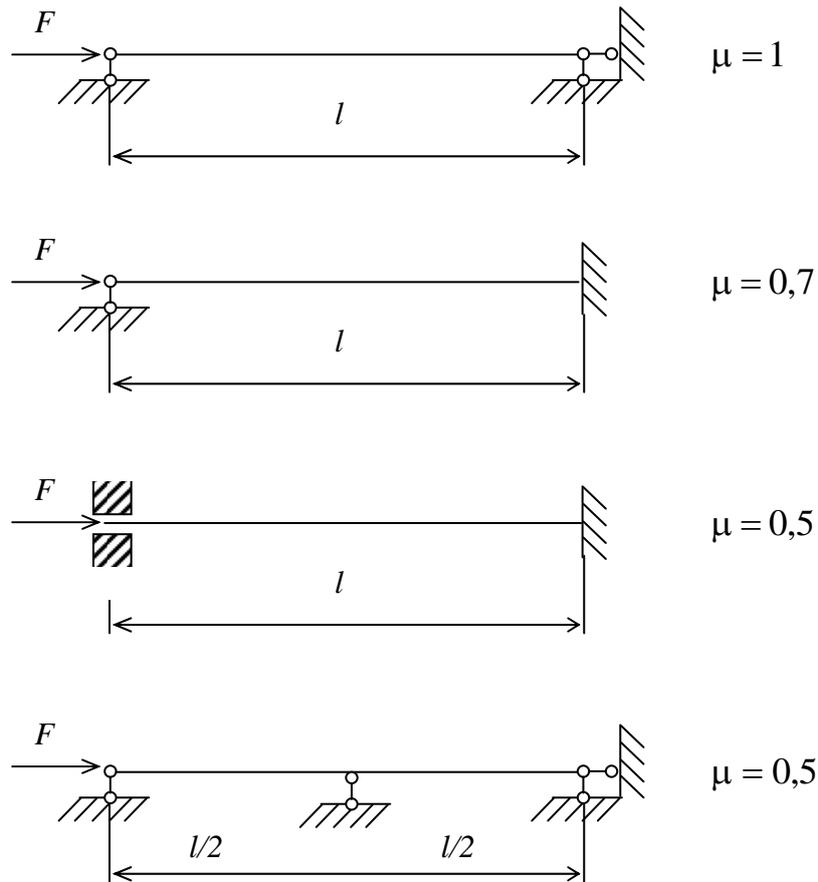


Рис. 10.2

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Формула Эйлера для определения критической силы имеет вид

$$F = \frac{\pi^2 EI_{\min}}{(\mu l)^2},$$

где E — модуль упругости материала стержня, I_{\min} — момент инерции относительно оси наименьшей гибкости, l — длина стержня, μ — коэффициент приведенной длины.

Гибкость стержня

$$\lambda = \frac{\mu l}{i_{\min}},$$

где i_{\min} — минимальный радиус инерции.

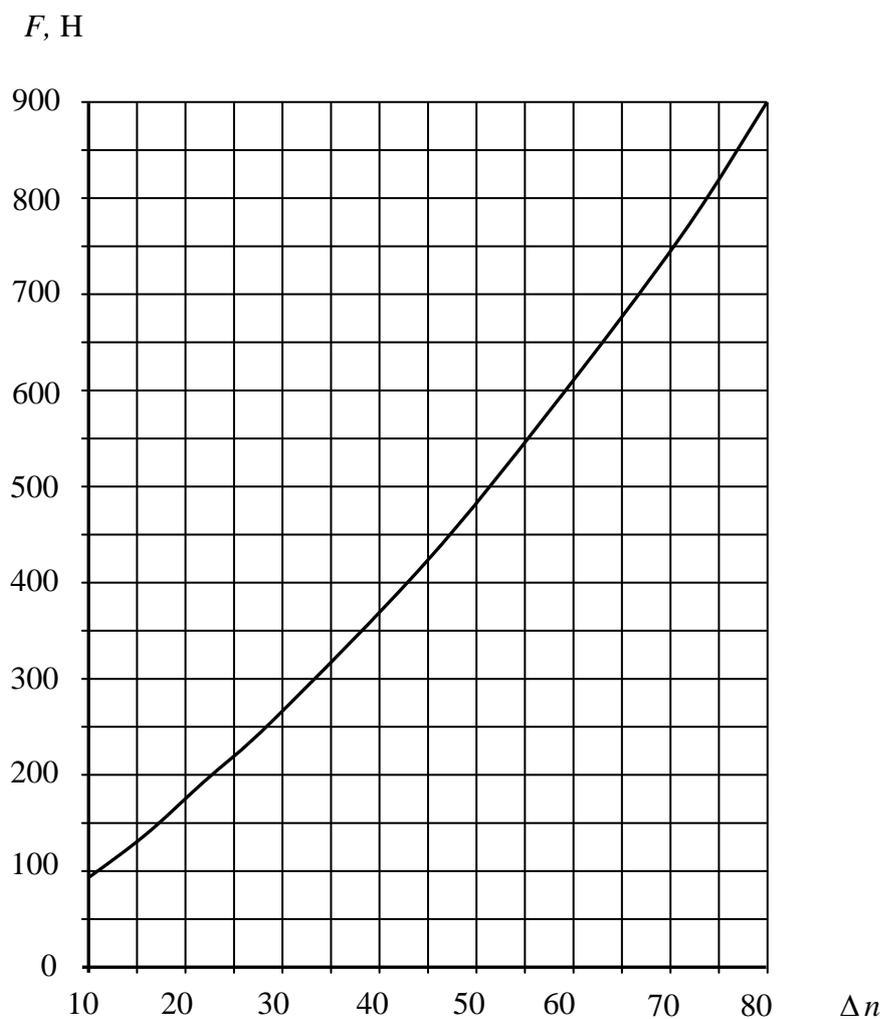


Рис. 10.3

ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Результаты проведенного исследования

№ варианта	Расчетная схема	Δn	F _{кр} ^{эксп} , Н	μ	λ	F _{кр} ^{расч} , Н	δ, %
1							
2							
3							
4							

ВЫВОДЫ

На основе определения процента расхождения между расчетными и экспериментальными значениями показать возможность применения формулы Эйлера для определения критической силы при продольном изгибе.

Библиографический список

1. *Александров А. В., Потапов В. Д., Державин Б. П.* Сопротивление материалов. М.: Высшая школа, 2000. 560 с.
2. *Кукса Л. В.* Курс лекций по сопротивлению материалов с примерами решения задач: Учебное пособие / Л. В. Кукса, Е. Е. Евдокимов. Волгоград: ВолгГАСУ, 2003. 187 с.
3. *Афанасьев А. М.* Лабораторный практикум по сопротивлению материалов / А. М. Афанасьев, В. А. Марьин. М.: Наука, 1975. 287 с.
4. *Цурпал И. А.* Сопротивление материалов: Лабораторные работы / И. А. Цурпал, Н. П. Барабан, В. М. Швайко. Киев, Вища школа, 1978. 192 с.
5. *Кукса Л. В.* Испытание на растяжение мягкой и жесткой стали с построением диаграмм растяжения: Метод. указания к лабораторной работе. Волгоград: ВолгИСИ, 1987. 14 с.
6. *Аликова Н. М.* Испытание стали, чугуна и дерева на сжатие: Метод. указания к лабораторной работе / Н. М. Аликова, Г. И. Беликов. Волгоград: ВолгИСИ, 1987.
7. *Кукса Л. В.* Определение модуля упругости при растяжении E , коэффициента Пуассона μ и модуля упругости при сдвиге G : Метод. указания к лабораторной работе. / Л. В. Кукса, Ю. А. Аликов. Волгоград: ВолгГАСА, 1998. 16 с.
8. *Калашиников С. Ю.* Испытание металлической балки на изгиб с проверкой основных гипотез и определением нормальных напряжений: Метод. указания к лабораторной работе. Волгоград: ВолгИСИ, 1988. 12 с.
9. *Аликова Н. М.* Определение перемещений при изгибе балок: Метод. указания к лабораторной работе. Волгоград: ВолгГАСА, 1998. 16 с.
10. *Беликов Г. И.* Определение опорного момента в статически неопределимой балке: Метод. указания к лабораторной работе. Волгоград: ВолгГАСА, 1997.
11. *Тарасов А. А.* Определение напряжений при внецентренном растяжении: Метод. указания к лабораторной работе. Волгоград: ВолгИСИ, 1991. 13 с.
12. *Кукса Л. В.* Исследование деформаций балок при косом изгибе: Метод. указания к лабораторной работе / Л. В. Кукса, Н. В. Стекольников, В. М. Хрысев. Волгоград: ВолгИСИ, 1986. 11 с.
13. *Кукса Л. В.* Определение напряжений при изгибе кривого бруса: Метод. указания к лабораторной работе / Л. В. Кукса, Е. Е. Евдокимов. Волгоград: ВолгГАСА, 2001.
14. *Родин С. И.* Исследование продольного изгиба: Методические указания к лабораторной работе. Волгоград: ВолгГАСА., 1996.

План выпуска учебн.-метод. документ. 2016 г., поз. 25

Минимальные систем. требования:
PC 486 DX-33; Microsoft Windows XP; Internet Explorer 6.0; Adobe Reader 6.0.

Подписано в свет 29.08.2016.
Гарнитура «Таймс». Уч.-изд. л. 1,0. Объем данных 0,4 Мбайт

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет»
400074, Волгоград, ул. Академическая, 1
<http://www.vgasu.ru>, info@vgasu.ru