Энгельсский технологический институт

ЭТИ СГТУ имени ГАГАРИНА Ю.А.

Д.А. Тихонов, А. А. Гильман

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО СОПРОТИВЛЕНИЮ МАТЕРИАЛОВ

Энгельс 2025 г.

**Энгельсский технологический институт (филиал)
федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования
«Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю. А.»**

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО СОПРОТИВЛЕНИЮ МАТЕРИАЛОВ

**Методические указания к выполнению
лабораторных работ по «Сопротивлению материалов»
для студентов направлений**

**15.03.02 «Технологические машины и оборудование»
15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств»
18.03.01 «Химическая технология»
23.03.01 «Нефтегазовое дело»**

очной и заочной формы обучения

Энгельс - 2023

УДК 539.3 / .8
ББК 30.121
Г47

Г47 Тихонов Д.А., Гильман А. А. Лабораторные работы по сопротивлению материалов. Методические указания к выполнению лабораторных работ. - Энгельс: Изд-во ЭТИ (филиал) СГТУ имени Гагарина Ю.А., 2023.- 30 с.

Рецензенты: к.ф.м.н., доцент кафедры «Естественные и математические науки» Энгельсского технологического института (филиал) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю. А. Серебряков А. В.
к.т.н., доцент кафедры «Оборудование и технологии обработки материалов» Энгельсского технологического института (филиал) Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю. А. Козлов Г. А.

Учебное пособие содержит методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Сопротивление материалов» и разделу «Сопротивление материалов» в дисциплинах «Механика», «Прикладная механика», «Техническая механика» в соответствии с программой подготовки бакалавров. Рассматриваются лабораторные работы по темам: растяжение – сжатие, сдвиг, кручение, изгиб, устойчивость.

Для студентов бакалавриата всех направлений подготовки.

УДК 539.3 / .8
ББК 30.121

Одобрено редакционно-издательским советом
ЭТИ (филиала) СГТУ имени Гагарина Ю.А.

Брошюра издается в авторской редакции

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторные работы ЛР1-ЛР6 относятся к механическим испытаниям, которые применяются для определения основных механических характеристик материала в соответствии с государственными стандартами. Стандарты [2,7] определяют правила подготовки образцов, а стандарты [1,3,4,5,6] - методики проведения испытаний.

Лабораторные работы ЛР7-ЛР12 проводятся для экспериментального подтверждения результатов теоретических расчетов.

В методических указаниях рассмотрен порядок проведения следующих лабораторных работ (ЛР):

ЛР 1. Испытание на растяжение стального образца.
ЛР 2. Испытание дерева на сжатие.
ЛР 3. Испытание деревянных образцов на скалывание вдоль волокон.
ЛР 4. Испытание стального образца на срез.
ЛР 5. Испытание стального образца на кручение до разрушения.
ЛР 6. Определение модуля упругости стали при сдвиге.
ЛР 7. Определение критической силы при продольном изгибе стержня.
ЛР 8. Определение линейных и угловых перемещений при плоском изгибе однопролетной балки.
ЛР 9. Определение линейных и угловых перемещений при плоском изгибе балки – консоли.
ЛР 10. Определение горизонтального перемещения шарнирно-подвижной опоры статически определимой рамы.
ЛР 11. Плоский изгиб статически неопределимой однопролетной балки
ЛР 12. Статически неопределимая портальная рама.

Порядок выполнения работ ЛР1-ЛР5

1. Изучить описание лабораторной работы, правила техники безопасности при ее выполнении, записать цель и название работы.
2. Подготовить таблицу наблюдений.
3. Получить допуск к лабораторной работе и задание.
4. Измерить с помощью штангенциркуля и линейки необходимые размеры.
5. Определить экспериментальные значения измеряемых параметров и зафиксировать их в отчете.
6. Сформулировать в отчете свои выводы по поводу проведенной лабораторной работы.
12. Оформить лабораторную работу в журнале для лабораторных работ и отчитаться преподавателю по работе.

Мероприятия по технике безопасности

При выполнении всех лабораторных работ необходимо соблюдать следующие условия:

1. Строго выполнять указания преподавателя и учебного мастера, проводящих лабораторные работы
2. Лабораторную работу надо выполнять в соответствии с описанием.
3. Не прикасаться к токоведущим частям лабораторного оборудования;
4. Следить за тем, чтобы в движущиеся части испытательных машин не попадали посторонние предметы;
5. Нагружение проводить аккуратно, грузы не бросать и не ронять.
6. Не трогать установки, на которых не проводится данная лабораторная работа.

МАШИНЫ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ

Для испытаний ЛР1-ЛР5 применяют испытательные машины, позволяющие производить нагружение образца, измерять величины приложенных к нему усилий и полученных образцом перемещений. Лабораторные работы ЛР1-ЛР4 проводятся на универсальной испытательной машине УММ-5 с максимальным усилием нагружения 49 кН, которая снабжена рычажно-маятниковым силоизмерителем. Лабораторная работа ЛР5 проводится на машине КМ-50.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1
ИСПЫТАНИЕ НА РАСТЯЖЕНИЕ СТАЛЬНОГО ОБРАЗЦА

Данная лабораторная работа посвящена изучению экспериментального метода определения основных механических свойств стали при статическом нагружении образца. Работа проводится в соответствии с [1].

Цель работы - установление опытным путем зависимости между нагрузкой и удлинением образца при растяжении до момента его разрыва; определение величины основных механических характеристик материала образца (предела пропорциональности $\sigma_{ПЦ}$, предела текучести физического σ_T, истинного сопротивления разрыву S_K, временного сопротивления материала σ_B, относительного удлинения δ и относительного сужения после разрыва Ψ.

Стандартом [1] предусмотрены 7 типов круглых образцов и несколько типов плоских образцов для испытаний. В лабораторной работе используется образец типа У1 (рис. 1).

Образец вставляется в захваты машины УММ-5, и в процессе испытания ведется наблюдение за его поведением. Диаграмма автоматически

вычерчивается в координатах $\Delta\ell$ по оси абсцисс и F по оси ординат.
Чтобы исключить из рассмотрения криволинейный участок в начале диаграммы, связанный с выборкой зазоров между частями машины УММ-5 и между головками образца и захватами, следует продолжить прямолинейный отрезок диаграммы до оси абсцисс, в пересечении с которой получим точку О – начало диаграммы. Прямолинейный участок диаграммы ОА соответствует прямой пропорциональности между нагрузками и удлинением образца (закон Гука). Затем деформации начинают расти быстрее растягивающей силы, причем от точки В диаграммы деформации растут без даль

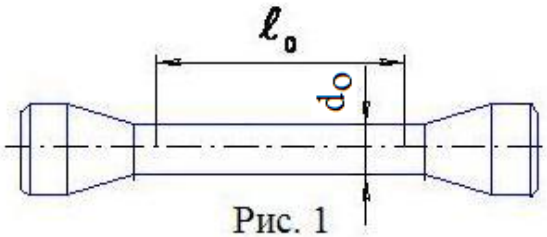


Рис. 1

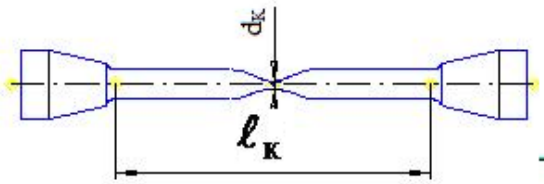


Рис. 3

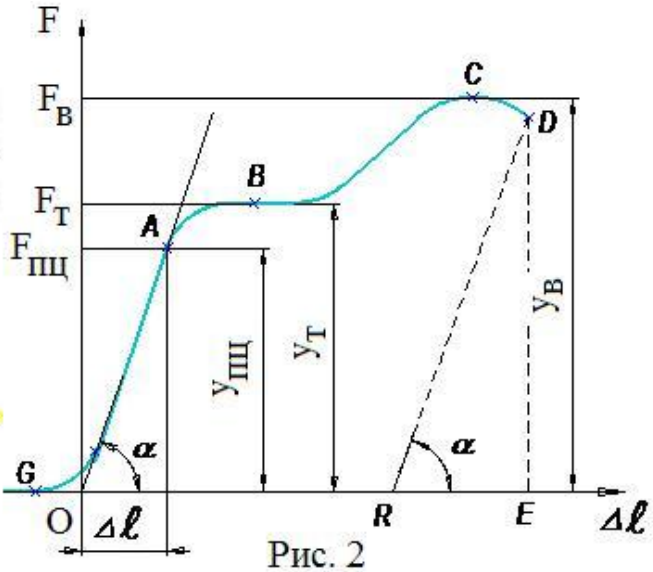


Рис. 2

нейшего повышения растягивающей силы - материал течет. На диаграмме при этом прочерчивается горизонтальная линия. За площадкой текучести диаграмма опять идет вверх по кривой и достигает своего наибольшего значения. До этого момента деформации распределялись равномерно по всему образцу. Наибольшая нагрузка F_B, достигнутая в процессе испытания, называется разрушающей, а условное напряжение $\sigma_в$, вызванное разрушающей нагрузкой, называется временным сопротивлением материала.

В окрестности точки С диаграммы деформация приобретает местный характер, концентрируясь около одного какого-либо участка по длине образца, оказавшегося наиболее слабым. В этом месте начинается образование так называемой шейки, то есть местного сужения поперечного сечения образца. Вследствие уменьшения площади сечения для дальнейшего растяжения образца нужна меньшая нагрузка. Поэтому на диаграмме наблюдается падение нагрузки, продолжавшееся до разрыва образца. Истинное же напряжение в материале у шейки, несмотря на падение нагрузки, все время возрастает.

Отрезок ОЕ на оси абсцисс диаграммы изображает полную деформацию образца. Сюда входят как остаточная, так и упругая деформация стержня. Чтобы получить на диаграмме только остаточное удлинение, сле-

дует провести наклонную прямую DR, параллельную OA, которая отсечет на оси абсцисс отрезок OR, соответствующий величине остаточной деформации, и отрезок RE, соответствующий упругой деформации образца при разрыве.

Порядок выполнения работы и обработка результатов опыта

1. Измеряем размеры образца (линейные – с точностью до 0,1 мм, диаметр d_0 с точностью 0,01 мм). Расстояние ℓ_0 измеряется между двумя рисками, нанесенными на поверхность образца.

2. После испытания записываем величину разрушающей нагрузки $F_В$ с точностью до величины минимального деления шкалы силоизмерителя.

3. Замеряем размеры $У_{ПЦ}$, $У_Т$, $У_В$ с точностью до 1 мм на диаграмме, полученной при испытании образца.

4. Замеряем размеры образца после испытания (рис. 3): длину $\ell_К$ с точностью до 0, 1 мм и минимальный диметр $d_К$ с точностью до 0,01 мм.

5. Определяем масштаб записи нагрузки F $\quad m_2 = \dfrac{F_В}{У_В}$ (Н/мм).

6. Находим значения нагрузок $F_{ПЦ}$ и $F_Т$

$$F_{ПЦ} = m_2 \cdot У_{ПЦ} \quad (Н); \qquad F_Т = m_2 \cdot У_Т \quad (Н).$$

7. Вычисляем первоначальную и конечную площади поперечного сечения образца $\quad A_0 = \dfrac{\pi d_0^2}{4} \cdot 10^{-6} \quad (м^2); \quad A_К = \dfrac{\pi d_К^2}{4} \cdot 10^{-6} \quad (м^2).$

Здесь d_o, (мм) – начальный диаметр образца,

$d_К$, (мм) – диаметр образца после разрыва.

8. Механические характеристики материала образца вычисляются по следующим формулам:

$$\sigma_{ПЦ} = \frac{F_{ПЦ}}{A_0} \quad (Па), \quad \sigma_Т = \frac{F_Т}{A_0} \quad (Па), \quad \sigma_В = \frac{F_В}{A_0} \quad (Па), \quad S_К = \frac{F_В}{A_К} \quad (Па),$$

$$\delta = \frac{\ell_К - \ell_0}{\ell_0} \cdot 100 \quad (\%), \qquad \psi = \frac{A_0 - A_К}{A_0} \cdot 100 \quad (\%),$$

где $\sigma_{ПЦ}$ - предел пропорциональности; $\sigma_Т$ - предел текучести; $\sigma_В$ - временное сопротивление; $S_К$ – истинное сопротивление разрыву; δ - относительное удлинение образца; ψ - относительное сужение образца после разрыва.

Величины δ и ψ являются характеристиками пластичности образца.

Данные и результаты лабораторной работы сводим в таблицу 1, называемую протоколом механических испытаний:

Таблица 1.

Протокол механических испытаний

Материал образца	Размеры образца						Усилия, кН			Напряжения, МПа				Относительные деформации, %	
	до испытания			после испытания											
	d_0, мм	A_0, м^2	ℓ_0, мм	d_K, мм	A_K, м^2	ℓ_K, мм	$F_{ПЦ}$	F_T	F_B	$\sigma_{ПЦ}$	σ_T	σ_B	S_K	δ	ψ

Вычисление $\sigma_{ПЦ}$, σ_T, σ_B производится с точностью до 1 МПа, вычисление δ и ψ производится с точностью до 0,5 %.

Полученные опытным путем для данного материала значения предела прочности σ_B, предела текучести σ_T, остаточного относительного удлинения δ и остаточного относительного сужения ψ дают возможность при помощи таблиц стандартов в порядке первого приближения установить марку стали.

Отчет о работе должен содержать:

1) название и цель работы;
2) рисунок образца до испытаний со всеми размерами;
3) диаграмму растяжения со всеми размерами и величинами нагрузок;
4) рисунок образца после испытаний со всеми размерами;
5) вычисления, по которым определяются все величины, входящие в протокол механических испытаний;
6) протокол механических испытаний.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2
ИСПЫТАНИЕ ДЕРЕВА НА СЖАТИЕ

Работа выполняется в соответствии со стандартами [3,4].

Цель работы – опытное определение величин временного сопротивления при сжатии вдоль и поперек волокон.

При испытании на сжатие пластичных материалов (мягкой стали, меди) удается определить лишь предел текучести, образцы практически не могут быть разрушены, они сплющиваются.

Хрупкие материалы (чугун, камень, бетон) разрушаются при сжатии, выдерживая при этом напряжения более высокие, чем при растяжении.

При испытании на сжатие применяют короткие образцы – соотношение размеров вдоль линии действия нагрузки и поперечного не более двух, так как с увеличением высоты образца возможно его искривление, что резко изменяет процесс деформирования, искажает результаты испы-

тания. Для испытаний используют образцы цилиндрической или кубической формы (рис. 4).

При испытаниях одна опора на прессе должна быть самоустанавливающейся для равномерного распределения нагрузки по сечению.

Если записывать диаграммы сжатия, то они будут иметь различный вид для пластичных и хрупких материалов. Например, диаграммы сжатия (рис. 5): 1 – мягкой стали, 2 – чугуна, 3 – дюралюминия,
4 – дерева вдоль волокон, 5 – дерева поперек волокон, 6 – стеклопластика.

Механические характеристики материалов при осевом сжатии определяются и называются так же, как и при растяжении. Однако, пластичные материалы могут сжиматься в тонкую пластинку без появления разрывов и определить величину временного сопротивления при сжатии практически невозможно. Образцы из хрупких материалов при сжатии разрушаются, распадаясь на части, трещины направлены примерно под углом 45° ÷ 50° к линии приложения нагрузки, то есть по площадкам максимальных касательных напряжений. На рис. 6 представлены общие виды образцов после испытания: а – из мягкой стали; б – из чугуна; в – из дерева вдоль волокон; г – из дерева поперек волокон. Силы трения, действующие на опорных поверхностях образца, препятствуют поперечной деформации в около опорных зонах, в связи с этим образец принимает бочкообразную форму. Влияние трения можно уменьшить путем смазки опорных поверхностей или применением образцов специальной формы.

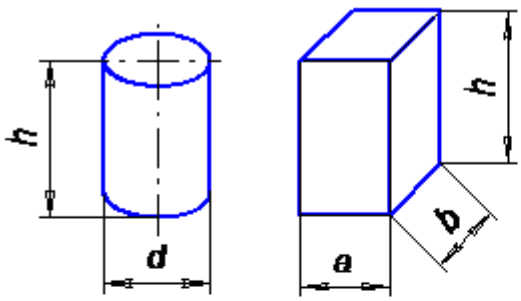


Рис. 4

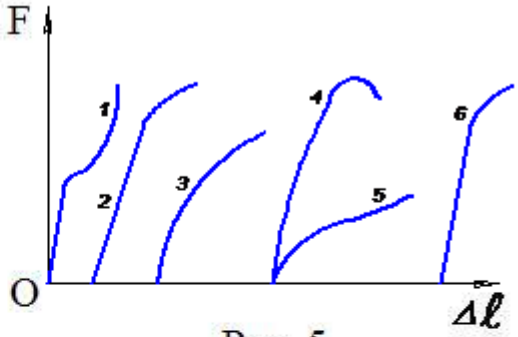


Рис. 5

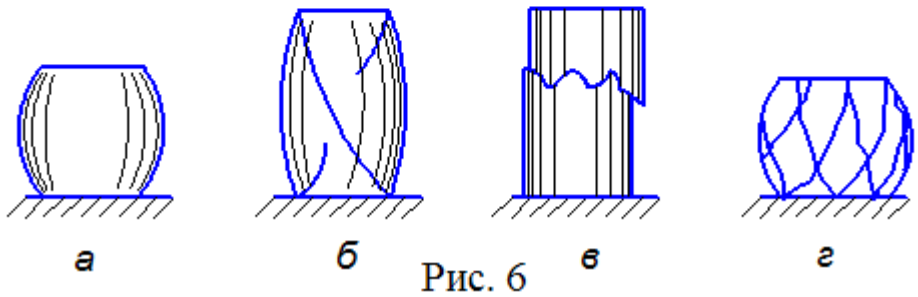


Рис. 6

Временное сопротивление при сжатии хрупких материалов определяется отношением наибольшей нагрузки F_B, при которой происходит разрушение образца или появление в нем трещин, к площади поперечного сечения образца $\sigma_в = \frac{F_в}{a \cdot b}$, (Па).

Порядок выполнения работы и обработка результатов опыта

Для образца, испытываемого на сжатие вдоль волокон и для образца, испытываемого на сжатие поперек волокон, выполнить:

1. Замерить размеры образцов a, b, h до испытания с точностью до 0,1 мм. При сжатии вдоль волокон, волокна направлены вдоль размера h, а при сжатии поперек волокон, волокна перпендикулярны направлению размера h.
2. Вставить образец между захватами машины и произвести испытание образца на сжатие. Постепенно увеличивая нагрузку, довести образец до разрушения или до появления трещин. Записать величину разрушающей нагрузки F_B с точностью до величины минимального деления шкалы силоизмерителя.
3. Данные обмеров и испытания, а также результаты вычислений занести в протокол механических испытаний (таблица 2).

Таблица 2.

Протокол механических испытаний.

Материал образца	Размеры образца				Разрушающая нагрузка F_B, Н	Временное сопротивление σ_B, МПа
	a, мм	b, мм	h, мм	A, $м^2$		
Дерево вдоль волокон						
Дерево поперек волокон						

Отчет о работе должен содержать:

1) эскизы образцов с указанием размеров до испытания;
2) величину разрушающей нагрузки, вычисление временного сопротивления при сжатии вдоль и поперек волокон;
3) эскизы образцов после испытания с описанием характера разрушения;
4) протокол механических испытаний.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 3
ИСПЫТАНИЕ ДЕРЕВЯННЫХ ОБРАЗЦОВ НА СКАЛЫВАНИЕ ВДОЛЬ ВОЛОКОН

Работа проводится в соответствии со стандартом [5].

Цель работы: определение временного сопротивления древесины при сдвиге вдоль волокон.

Порядок выполнения работы и обработка результатов опыта

Для испытания древесины на скалывание вдоль волокон применяют образец и приспособление, изображенные на рис. 7.

Перед испытанием образец измеряют с точностью до 0,1 мм. Затем образец устанавливают в приспособление так, чтобы длинная часть образца плотно прилегала к вертикальной опорной стенке и прижимают винтом между опорной стенкой и подвижной опорой. Приспособление устанавливают между нижним и верхним захватами универсальной испытательной машины и прикладывают нагрузку. По шкале машины фиксируется разрушающая нагрузка $F_В$, Н.

Временное сопротивление вычисляется - $\tau_в = \dfrac{F_в}{a \cdot \ell}$ (Па).

Отчет о работе должен содержать:

1) эскиз образца до испытания со всеми размерами;
2) эскиз приспособления для испытания;
3) эскиз образца после испытания;
4) величину временного сопротивления при скалывании вдоль волокон.

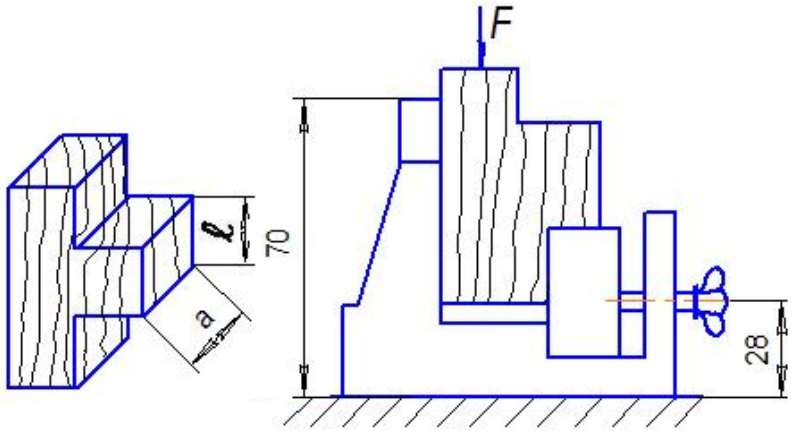


Рис. 7

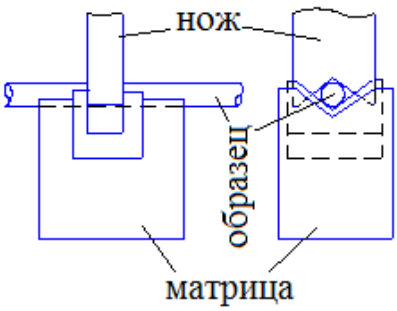


Рис. 8

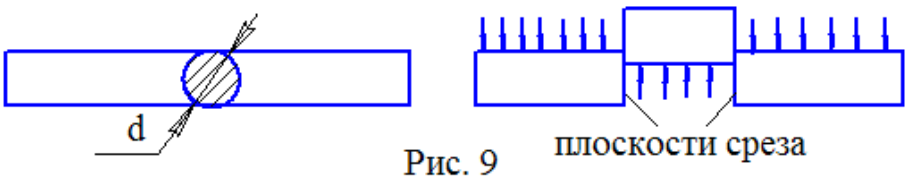


Рис. 9

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4
ИСПЫТАНИЕ СТАЛЬНОГО ОБРАЗЦА НА СРЕЗ

Цель работы: определение временного сопротивления стали при срезе.

Приспособление для испытания на срез (рис. 8) состоит из матрицы и ножа. Матрица имеет вкладыш из закаленной стали с вырезом, в который проходит нож. Матрицу устанавливают на опорную плиту нижнего захвата универсальной испытательной машины УММ-5. Нож должен совпадать с вырезом матрицы. При сближении захватов машины опорная плита верхнего захвата давит на нож, который входит в вырез матрицы и перерезает образец по двум плоскостям (рис. 9).

Порядок выполнения работы и обработка результатов опыта

1. Измеряем диаметр образца d с точностью 0,01 мм.
2. Проводим нагружение и по шкале машины фиксируют разрушающую нагрузку F_B, Н.
3. Подсчитываем площадь среза $A_{ср} = 2A = 2 \cdot \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi d^2}{2}$, (м^2),

где А– площадь поперечного сечения образца.

4. Находим временное сопротивление при срезе $\tau_B = \frac{F_B \cdot 10^{-6}}{A_{ср}}$ (МПа).
5. Все полученные расчетом данные заносим в протокол механических испытаний (табл. 3).

Таблица 3

Протокол механических испытаний.

Материал образца	Размеры образца		Площадь среза $A_{ср}$, м^2	Разрушающая нагрузка F_B, кН	Временное сопротивление при срезе τ_B, МПа
	диаметр d, мм	площадь A, м^2			

Отчет о работе должен содержать:

1) эскиз образца до и после испытания со всеми размерами;
2) схему прибора для испытания на срез;
3) опытные данные и вычисления, по которым определяются все величины, входящие в протокол механических испытаний;
4) протокол механических испытаний.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 5
ИСПЫТАНИЕ СТАЛЬНОГО ОБРАЗЦА НА КРУЧЕНИЕ ДО РАЗРУШЕНИЯ

Работа проводится в соответствии со стандартом [6].

Цель работы: опытное определение временного сопротивления материала и угла закручивания стального образца при кручении.

Образцы для испытания на кручение имеют цилиндрическую форму. Длина ℓ рабочего участка образца согласно стандарту [6] должна быть равной 10·d, где d – диаметр образца (рис. 10).

В результате испытания разрушение стального образца происходит без образования шейки (рис. 11), незаметно и бесшумно, по сечению, перпендикулярному к оси образца. Образец в месте разрушения имеет вид полированной блестящей поверхности, как бы срезанной ножом. Продольная черта, нанесенная на поверхность образца, обращается в винтовую линию.

Рис. 10 Рис. 11 Рис. 12

Если испытывать чугунный образец, то он разрушается при кручении внезапно, с шумом, и всегда по наклонному сечению (рис. 12). В месте разрушения хорошо видны следы отрыва металла.

Порядок проведения работы и обработка результатов опыта

1. Для проведения испытания измеряем диаметр образца с точностью до 0,01 мм и расчетную длину образца ℓ с точностью до 0,1 мм. Вдоль образца мелом проводим прямую линию.
2. Нагружаем образец и после разрушения образца записываем разрушающую нагрузку M_B и угол закручивания.
3. Определяем временное сопротивление $\tau_B = \dfrac{M_B}{W_P}$,

где для круглого сечения $W_P \approx 0{,}2d^3$.

4. Находим удельный угол закручивания $\theta = \dfrac{\varphi}{\ell}$ радиан на 1 пог. м.

Порядок выполнения работ ЛР6-ЛР12

Выполнить первые 4 пункта порядка выполнения работ (стр. 3).

5. Установить стрелки всех индикаторов часового типа на «0» и записать начальные значения всех измеряемых параметров в таблицу наблюдений при начальной нулевой нагрузке $F_1 = 0$.

6. Осторожно произвести N кратное нагружение и разгрузку установки, прикладывая к подвесу (или подвесам одновременно) одинаковую нагрузку. На каждом этапе нагружения и разгрузки фиксировать в таблице наблюдений значения нагрузки и измеряемых параметров. Учесть, что если измерительный стержень индикатора вдвигается внутрь, то отсчет ведется по черной шкале, а если наружу – то по красной шкале. Производить смену шкал при нагрузке и разгрузке не рекомендуются.

7. Вычислить приращения нагрузки и измеряемых параметров на каждом этапе нагружения и заполнить соответствующие столбцы таблицы наблюдений.

8. Определить экспериментальные значения измеряемых параметров и зафиксировать их в отчете.

9. Теоретически вычислить значения параметров, определяемых в лабораторной работе. Теоретический расчет должен быть проведен в отчете полностью.

10. Определить расхождение между экспериментально полученными ($f_{ЭКСП}$) и теоретически вычисленными ($f_{ТЕОР}$) значениями параметров

$$\frac{\left|f_{ТЕОР} - f_{ЭКСП}\right|}{f_{ТЕОР}} \cdot 100\%$$

11. Сформулировать в отчете свои выводы по поводу проведенной лабораторной работы и расхождений между полученными теоретическими и экспериментальными значениями.

12. Оформить лабораторную работу в тетради для лабораторных работ и отчитаться преподавателю по работе и связанной с ней теории.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 6
ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ УПРУГОСТИ СТАЛИ G ПРИ СДВИГЕ

Цель работы: проверка закона Гука при кручении и определение модуля упругости G стали при сдвиге.

Испытания проводятся на опытной установке, изображенной на рис. 13. Испытываемый стальной вал 2 левым концом жестко защемлен в опоре 1 и шарнирно оперт в опорах 3. На валу жестко закреплены грузовой рычаг 6, на котором подвешен поддон для грузов 4 и толкатель 7, в пятку которого упирается наконечник индикатора часового типа 8. Индикатор крепится в держателе 9.

При нагружении поддона грузовой рычаг создает на валу крутящий момент, а сечение вала, где закреплен толкатель, поворачивается на угол φ. Стрелка индикатора показывает величину горизонтального перемещения пятки толкателя.

Вал имеет размеры: d = 1 см., ℓ = 50 см. Длина плеча толкателя ρ = 25.5 см. Длина плеча грузового рычага r = 25.5 см.

Порядок проведения работы и обработка результатов опыта

1. Перед испытаниями закрепляют индикатор в держателе с помощью отвертки и устаналивают показание стрелки на деление 0.
2. На поддон установки помещают последовательно грузы весом 2 Н, записывая показания индикатора. Результаты испытаний заносят в протокол механических испытаний (табл. 4).
3. Подсчитывем угол закручивания вала φ, рад (рис. 14)

$$\varphi = \frac{0.01 \cdot \Delta И_{СР}}{\rho \cdot 10};$$

4. Подсчитывем полярный момент инерции поперечного сечения вала

$$J_Р = 0.1 \cdot d^4 \cdot 10^{-8} \quad м^4 \;;$$

5. Подсчитывем модуль сдвига G, Па - $G = \dfrac{\Delta M_{КСР} \cdot 10^{-2} \cdot \ell \cdot 10^{-2}}{\varphi \cdot J_Р}$.

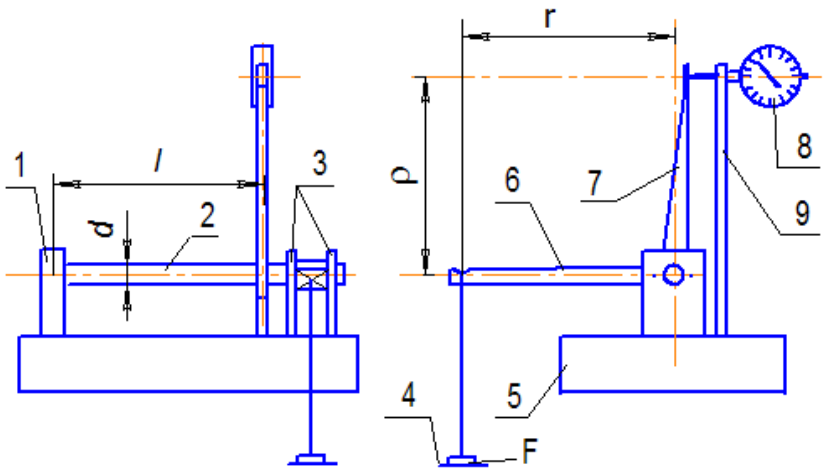


Рис. 13

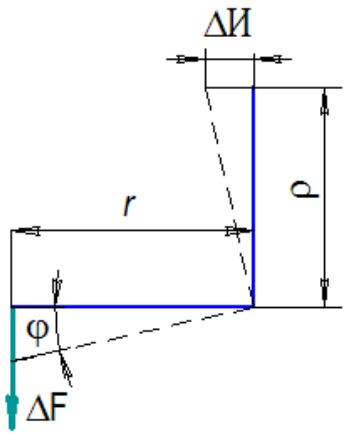


Рис. 14

Таблица 4

Протокол механических испытаний

№ п/п	Вес груза, Н	Крутящий момент M_K , нм	Разность смежных значений ΔM_K, Нм	Количество делений по индикатору И	Разность смежных отсчетов по индикатору ΔИ
1					
2					
…					
n					
Среднеарифметическое значение $\Delta M_{KCP} = \frac{\sum \Delta M_{Ki}}{6}$				Среднеарифметическое значение $\Delta И_{CP} = \frac{\sum \Delta И_i}{6}$	

Отчет о работе должен содержать:

1) эскиз опытной установки;
2) протокол механических испытаний;
3) величины угла закручивания, полярного момента инерции поперечного сечения вала, модуля сдвига.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 7
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКОЙ СИЛЫ ПРИ ПРОДОЛЬНОМ ИЗГИБЕ СТЕРЖНЯ

Цель работы: определение опытным путем величины критической силы при продольном изгибе стержня с шарнирно опертыми концами и сравнение полученного экспериментального значения силы с теоретически вычисленным ее значением.

Работа выполняется на установке СМ 20 (рис. 15). Исследуемый образец - прямолинейный стержень длиной ℓ = 0,5 м прямоугольного поперечного сечения размерами 2,5 х 35 мм^2 , выполненный из стали марки 65Г (E = 2,1·10^5 МПа).

Исследуемый образец 1 свободно устанавливается в опоры установки СМ 20, одна из которых неподвижна, а другая подвижна. Маховик 10 с ручкой вращается по часовой стрелке. Червяк 8, находящийся на одной оси с маховиком, вращает червячное колесо 9. На одной оси с червячным колесом 9 расположен подъемный винт 6, который при вращении поднимает гайку 7. Гайка 7 через тарированную пружину 5 давит на подвижную опору и сжимает образец 1. Усилие сжатия F определяется величиной сжатия пружины 5, которая находится по взаимному смещению указателей 11 и

12, установленных с обоих концов пружины 5, с точностью 0,1 мм. Связь величины сжатия пружины 5 с усилием сжатия F приведена на тарировочном графике – рис. 16. Потеря устойчивости сжатого стержня 1 определяется визуально по приближению его средней части к одному из ограничительных винтов 13.

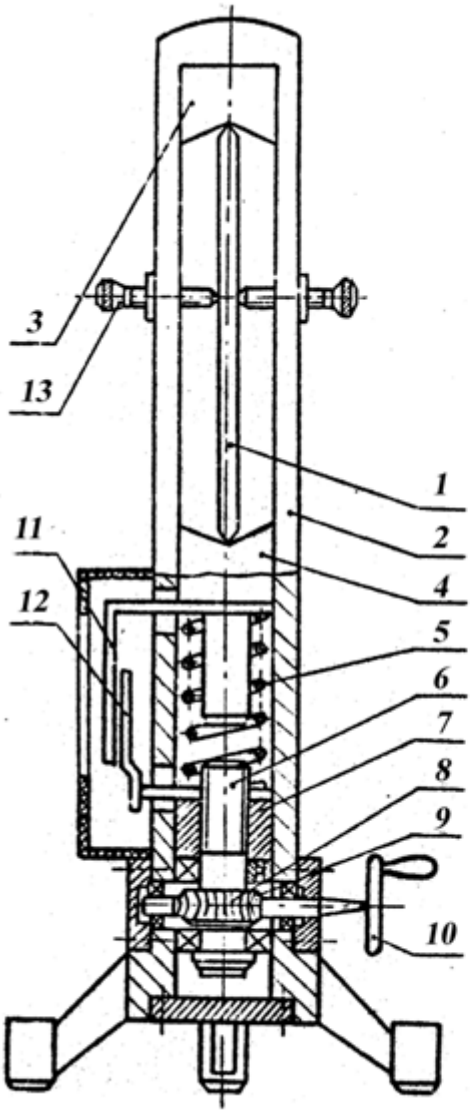


Рис. 15

Рис. 16

Так как образец 1 относится с стеженям большой гибкости, теоретически критическая сила, при которой сжатый стержень теряет устойчивость, определяется по формуле Л. Эйлера $F_{кр} = \dfrac{\pi^2 \cdot E \cdot J_{MIN}}{(\mu \cdot \ell)^2}$.

Здесь: μ – коэффициент приведения длины, для данных опор $\mu = 1$;

ℓ – длина стержня в метрах; $J_{MIN} = \dfrac{b \cdot h^3}{12}$ – минимальный момент инерции поперечного сечения стержня в $м^4$; b = 35 мм, h = 2,5 мм.

Далее выполняются п.10-12 порядка выполнения работ, см. стр. 13.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 8
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИНЕЙНЫХ И УГЛОВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ПРИ ПЛОСКОМ ИЗГИБЕ ОДНОПРОЛЕТНОЙ БАЛКИ

Цель работы – экспериментальное определение величин прогибов и углов поворота поперечных сечений балки и сравнение их с величинами, вычисленными теоретически.

Экспериментальная часть. Работа выполняется на установке СМ4А (рис. 17, а). Исследуемый образец – однопролетная балка прямоугольного поперечного сечения 7 х 38 мм^2. Материал балки – пружинная сталь марки 60С2 (Е = 2,1·10^5 МПа).

Нагружение балки сосредоточенными силами осуществляется с помощью двух гиревых подвесов и набора грузов. Расстояния от опорных сечений балки до точек приложения нагрузки задаются для каждой группы студентов и определяется по шкале, нанесенной на балке.

В результате нагружения балка изгибается и каждое поперечное сечение ее перемещается в плоскости действия нагрузки. Центр тяжести сечения получает вертикальное линейные перемещение – прогиб, а само сечение поворачивается на некоторый угол, называемый углом поворота сечения или угловым перемещением. Измерение прогиба заданного сечения производится с помощью индикатора часового типа И$_1$, наконечник измерительного стержня которого упирается в балку. Поворот опорных сечений балки определяется с помощью индикатора И$_2$, наконечник измерительного стержня которого упирается в пятку стержня длиной L = 150 мм, жестко связанного с балкой в шарнирно-неподвижной опоре. Цена деления индикаторов часового типа равна 0,01 мм.

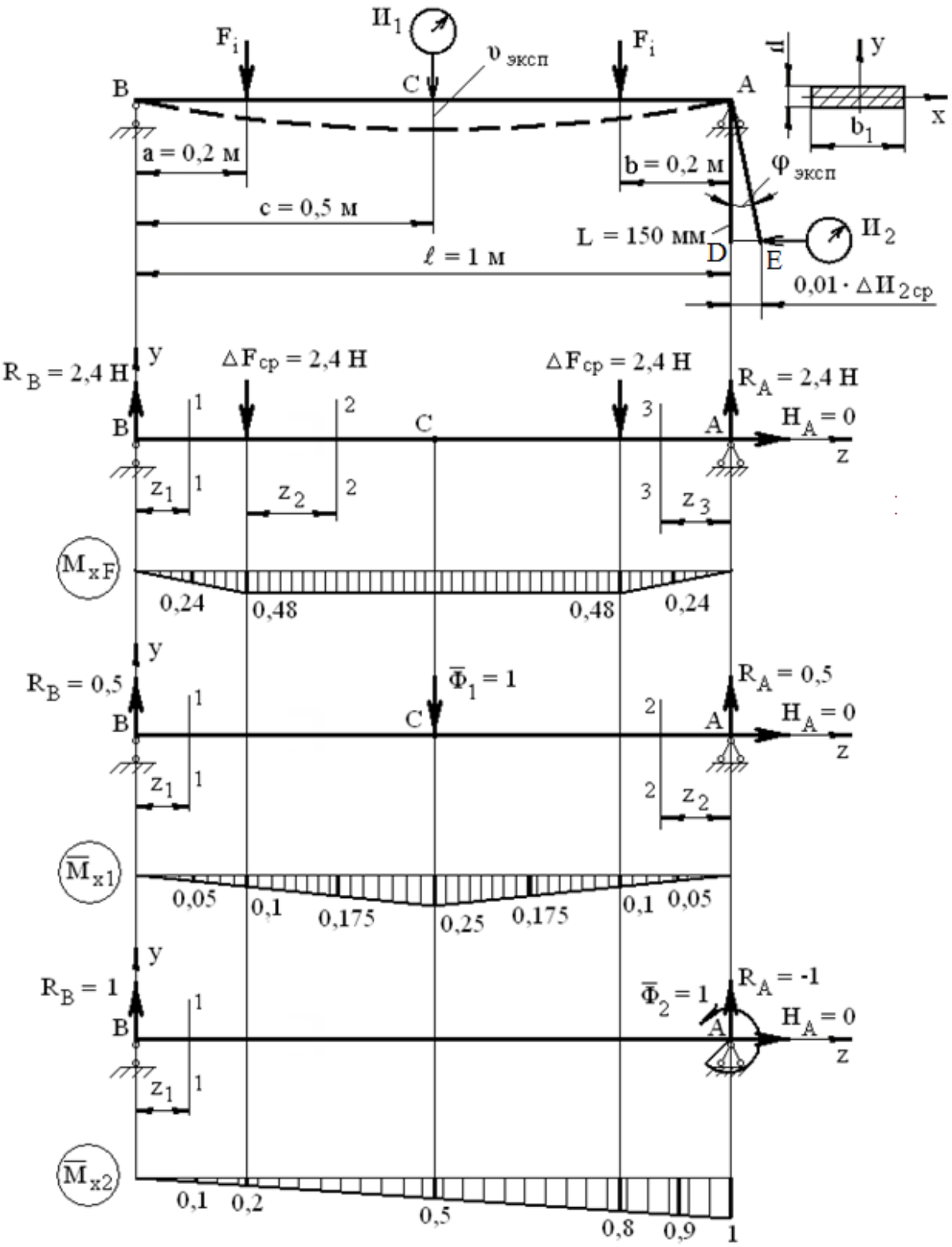
Все полученные данные записываются в таблицу 5.

Далее выполняются п.5 – п.8, описанные в – «Порядок выполнения работ», см. стр. 13.

Экспериментально определяемые величины:

1. Прогиб в заданном сечении балки $v_{ЭКСП} = \Delta И_{1СР} \cdot 0{,}01$ (мм).

2 Угол поворота сечения балки в шарнирно-неподвижной опоре определяется из треугольника ADE (см. рис. 17, а) $\varphi_{ЭКСП} \approx tg\varphi = \dfrac{\Delta И_{2СР} \cdot 0{,}01}{L}$ (рад).



И1
Fi
υ эксп
Fi
B
C
A
y
x
b1
a = 0,2 м
b = 0,2 м
φ эксп
c = 0,5 м
L = 150 мм
D
E
И2
ℓ = 1 м
0,01 · ΔИ2ср
RB = 2,4 Н
ΔFср = 2,4 Н
ΔFср = 2,4 Н
RA = 2,4 Н
HA = 0
z1
z2
z3
MxF
0,24
0,48
0,48
0,24
RB = 0,5
Φ̄1 = 1
RA = 0,5
HA = 0
M̄x1
0,05
0,1
0,175
0,25
0,175
0,1
0,05
RB = 1
Φ̄2 = 1
RA = -1
HA = 0
M̄x2
0,1
0,2
0,5
0,8
0,9
1

Рис. 17

Таблица 5

Протокол механических испытаний

№ п/п	Вес груза F_i, Н	Разность смежных значений ΔF_i, Н	Показания первого индикатора $И_{1i}$, дел	Разность смежных отсчетов по первому индикатору $\Delta И_{1i}$, дел	Показания второго индикатора $И_{2i}$, дел	Разность смежных отсчетов по второму индикатору $\Delta И_{2i}$, дел
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
		Среднее арифметическое значение $\Delta F_{CP} = \frac{\sum \Delta F_i}{6}$		Среднее арифметическое значение $\Delta И_{1CP} = \frac{\sum \Delta И_{1i}}{6}$		Среднее арифметическое значение $\Delta И_{2CP} = \frac{\sum \Delta И_{2i}}{6}$

Теоретический расчет. Прогиб заданного сечения балки и угол поворота сечения балки над шарнирно-неподвижной опорой определяются с помощью интегралов Мора и способа Симпсона.

Для определения прогиба балки в середине пролета и угла поворота сечения балки над шарнирно неподвижной опорой, запишем интегралы Мора:

$$v_{TEOP} = \Delta_{1F} = \sum_{i=1}^{n} \int_{\ell_i} \frac{M_{XF} \cdot \overline{M}_{X1}}{EJ_X} \cdot dz\,; \quad \varphi_{TEOP} = \Delta_{2F} = \sum_{i=1}^{n} \int_{\ell_i} \frac{M_{XF} \cdot \overline{M}_{X2}}{EJ_X} \cdot dz \quad ,$$

где M_{XF} – грузовой изгибающий момент, возникающий в балке от действия внешней нагрузки; $\overline{M}_{X1}$ и $\overline{M}_{X2}$ – единичные изгибающие моменты, возникающие в балке от действия соответственно единичной силы $\overline{\Phi}_1$=1 и единичного момента $\overline{\Phi}_2$=1.

Для определения грузового момента M_{XF} к балке приложим внешнюю нагрузку (рис. 17, б). Составляем уравнения равновесия статики и определяем опорные реакции:

$\sum m_A = 0;\ \Delta F_{CP} \cdot 0{,}2 + \Delta F_{CP} \cdot 0{,}8 - R_B \cdot 1 = 0;\ R_B = \Delta F_{CP} = 2{,}4$ Н;

$\sum m_B = 0;\ -\Delta F_{CP} \cdot 0{,}2 + \Delta F_{CP} \cdot 0{,}8 + R_A \cdot 1 = 0;\ R_A = \Delta F_{CP} = 2{,}4$ Н.

Проверочное уравнение:

$\sum F_Y = 0:\ R_B - \Delta F_{CP} - \Delta F_{CP} + R_A = 0;\ 2{,}4 - 2{,}4 - 2{,}4 + 2{,}4 = 0.$

Разбиваем конструкцию на участки и применяем метод сечений.

Участок I (рис. 18, а): $0 \le z_1 \le 0{,}2$ м.

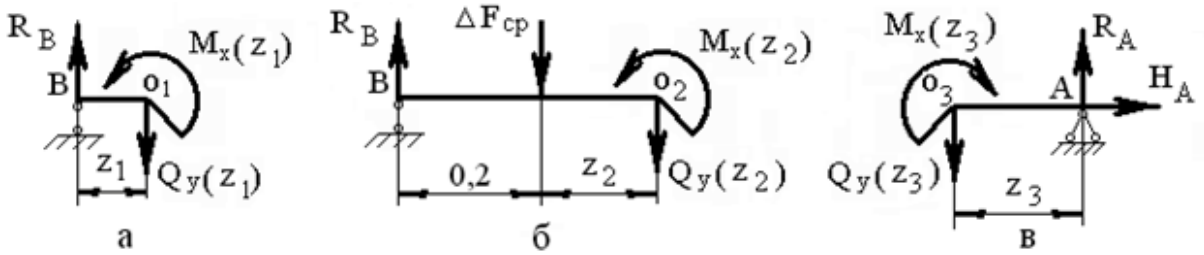


Рис. 18

$$\sum m_{O_1} = 0;\ -R_B \cdot z_1 + M_X(z_1) = 0;\ M_X(z_1) = R_B \cdot z_1 = 2{,}4 \cdot z_1;$$

$$M_X(z_1 = 0) = 0;\ M_X(z_1 = 0{,}2\ \text{м}) = 2{,}4 \cdot 0{,}2 = 0{,}48 \ \text{Нм}.$$

Участок II (рис. 18, б): $0 \le z_2 \le 0{,}6$ м.

$$\sum m_{O_2} = 0;\ -R_B \cdot (0{,}2 + z_2) + \Delta F_{CP} \cdot z_2 + M_X(z_2) = 0;$$

$$M_X(z_2) = R_B \cdot (0{,}2 + z_2) - \Delta F_{CP} \cdot z_2 = 2{,}4 \cdot (0{,}2 + z_2) - 2{,}4 \cdot z_2;$$

$$M_X(z_2 = 0) = 2{,}4 \cdot 0{,}2 = 0.48 \ \text{Нм};$$

$$M_X(z_2 = 0{,}6\ \text{м}) = 2{,}4 \cdot (0{,}2 + 0{,}6) - 2{,}4 \cdot 0{,}6 = 0{,}48 \ \text{Нм}.$$

Участок III (рис. 18, в): $0 \le z_3 \le 0{,}2$ м.

$$\sum m_{O_3} = 0;\ R_A \cdot z_3 - M_X(z_3) = 0;\ M_X(z_3) = R_A \cdot z_3 = 2{,}4 \cdot z_3;$$

$$M_X(z_3 = 0) = 0;\ M_X(z_3 = 0{,}2\ \text{м}) = 2{,}4 \cdot 0{,}2 = 0{,}48 \ \text{Нм}.$$

Строим грузовую эпюру M_{XF} (рис. 17, в).

Для определения первого единичного изгибающего момента $\overline{M}_{X1}$ к балке в точке С приложим единичную вертикальную силу $\overline{\Phi}_1 = 1$ (рис. 17, г). Составляем уравнения равновесия статики и определяем опорные реакции:

$$\sum m_A = 0;\ \overline{\Phi}_1 \cdot 0{,}5 - R_B \cdot 1 = 0;\ R_B = 1 \cdot 0{,}5 = 0{,}5;$$

$$\sum m_B = 0;\ -\overline{\Phi}_1 \cdot 0{,}5 + R_A \cdot 1 = 0;\ R_A = 1 \cdot 0{,}5 = 0{,}5.$$

Проверочное уравнение:

$$\sum F_Y = 0:\ R_B - \overline{\Phi}_1 + R_A = 0;\ 0{,}5 - 1 + 0{,}5 = 0.$$

Разбиваем конструкцию на участки и применяем метод сечений.

Участок I (рис. 19, а): $0 \le z_1 \le 0{,}5$ м.

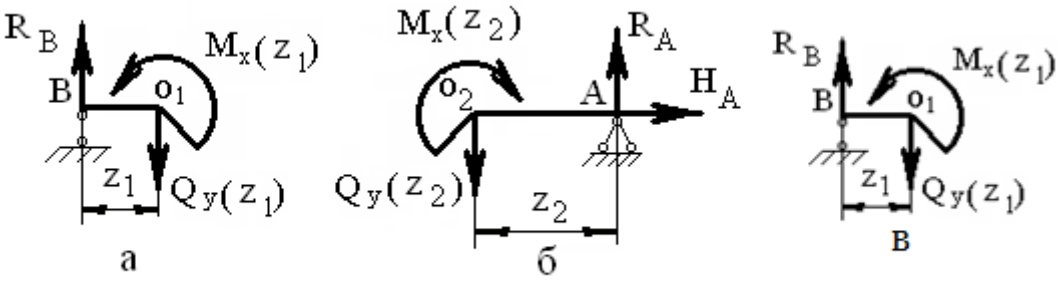


Рис. 19

$$\sum m_{O_1} = 0;\ -R_B \cdot z_1 + M_X(z_1) = 0;\ M_X(z_1) = R_B \cdot z_1 = 0{,}5 \cdot z_1;\ M_X(z_1 = 0) = 0;$$

$$M_X(z_1 = 0{,}5\ \text{м}) = 0{,}5 \cdot 0{,}5 = 0{,}25.$$

Участок II (рис. 19, б): $0 \le z_2 \le 0{,}5$ м.

$$\sum m_{O_2} = 0;\ R_A \cdot z_2 - M_X(z_2) = 0;\ M_X(z_2) = R_A \cdot z_2 = 0{,}5 \cdot z_2;$$

$$M_X(z_2 = 0) = 0;\ M_X(z_2 = 0{,}5\ \text{м}) = 0{,}5 \cdot 0{,}5 = 0{,}25.$$

Строим единичную эпюру M_{X1} (рис. 17, д).

Для определения второго единичного изгибающего момента $\overline{M}_{X2}$ к балке в точке А приложим единичный изгибающий момент $\overline{\Phi}_2 = 1$ (рис. 17, е). Составляем уравнения равновесия статики и определяем опорные реакции:

$$\sum m_A = 0;\ \overline{\Phi}_2 - R_B \cdot 1 = 0;\ R_B = 1;\quad \sum m_B = 0;\ \overline{\Phi}_2 + R_A \cdot 1 = 0;$$

$$R_A = -1.$$

Проверочное уравнение:

$$\sum F_Y = 0:\ R_B + R_A = 0;\ 1 - 1 = 0.$$

Разбиваем конструкцию на участки и применяем метод сечений.

Участок I (рис. 19,в): $0 \le z_1 \le 1$ м.

$$\sum m_{O_1} = 0;\ -R_B \cdot z_1 + M_X(z_1) = 0;$$

$$M_X(z_1) = R_B \cdot z_1 = 1 \cdot z_1;\quad M_X(z_1 = 0) = 0;\quad M_X(z_1 = 1\ \text{м}) = 1 \cdot 1 = 1.$$

Строим вторую единичную эпюру $\overline{M}_{x2}$ (рис. 17, ж).

Осевой момент инерции поперечного сечения балки

$$J_X = \frac{b_1 \cdot h^3}{12} = \frac{40 \cdot 7^3}{12} \cdot 10^{-12} = 1143{,}33 \cdot 10^{-12}\quad \text{м}^4.$$

Вычисляем интегралы Мора (1) и (2) с помощью метода Симпсона:

$$v_{\text{ТЕОР}} = \Delta_{1F} = \frac{0{,}2}{6 \cdot EJ_X} \cdot (4 \cdot 0.24 \cdot 0.05 + 0.48 \cdot 0.1) \cdot 2 +$$

$$+ \frac{0{,}3}{6 \cdot EJ_X} \cdot (0{,}48 \cdot 0{,}1 + 4 \cdot 0.48 \cdot 0.175 + 0.48 \cdot 0.25) \cdot 2 = \frac{0{,}0568}{EJ_X} =$$

$$= \frac{0{,}0568}{2 \cdot 10^{11} \cdot 1143{,}33 \cdot 10^{-12}} = 0{,}2484 \cdot 10^{-3}\quad \text{м}.$$

$$\varphi_{ТЕОР} = \Delta_{2F} = \frac{0,2}{6 \cdot EJ_X} \cdot (4 \cdot 0.24 \cdot 0.1 + 0.48 \cdot 0.2) +$$

$$+ \frac{0,6}{6 \cdot EJ_X} \cdot (0,48 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0.48 \cdot 0.5 + 0.48 \cdot 0.8) + + \frac{0,2}{6 \cdot EJ_X} \cdot (0,48 \cdot 0,8 + 4 \cdot 0.24 \cdot 0.9) = \frac{0,192}{EJ_X} =$$

$$= \frac{0,192}{2 \cdot 10^{11} \cdot 1143,33 \cdot 10^{-12}} = 8,3965 \cdot 10^{-4} \quad \text{рад.}$$

Далее выполняются пп.10,11,12, описанные в «Порядок выполнения работ», см. стр. 13.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 9
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЛИНЕЙНЫХ И УГЛОВЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ПРИ ПЛОСКОМ ИЗГИБЕ БАЛКИ – КОНСОЛИ

Цель работы – экспериментальное определение величин прогибов и углов поворота поперечных сечений балки и сравнение их с величинами, вычисленными теоретически.

Экспериментальная часть. Работа выполняется на установке СМ 7Б (рис. 20, а). Исследуемый образец балка - консоль прямоугольного сечения 10 х 50 мм^2, изготовленная из пружинной стали марки 60С2 (Е = 2,1·10^5 МПа). Порядок выполнения лабораторной работы 9 полностью совпадает с порядком выполения лабораторной работы 8, только длина стержня BD в треугольнике BDE, из которого находится угол поворота сечения балки, равна L = 300 мм.

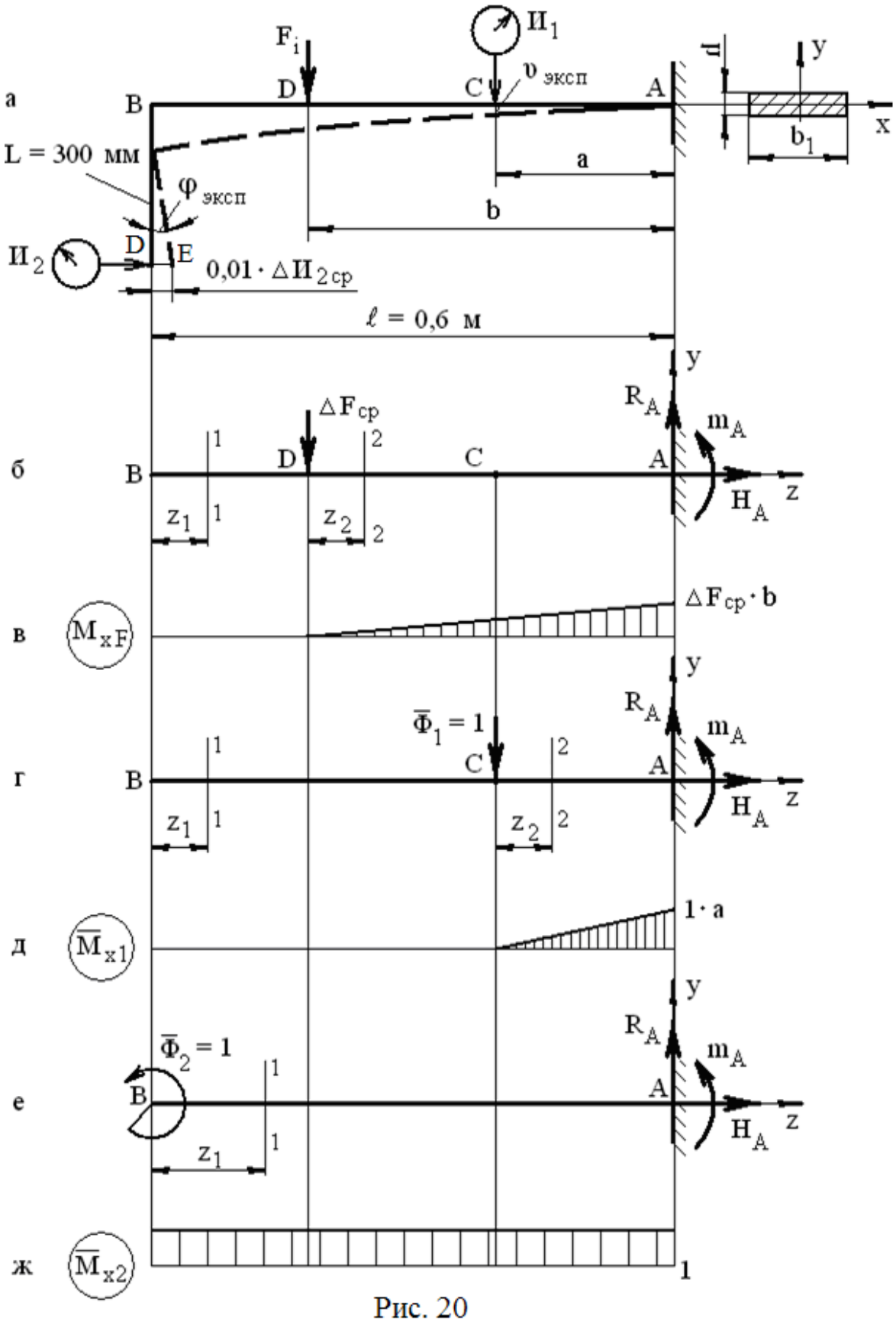
Экспериментально определяемые величины:

1. Прогиб в заданном сечении балки $v_{ЭКСП} = \Delta И_{1СР} \cdot 0,01$ мм:

2 Угол поворота сечения балки $\varphi_{ЭКСП} \approx tg\varphi = \frac{\Delta И_{2СР} \cdot 0,01}{L}$ рад.

Теоретический расчет. Прогиб и угол поворота в заданных сечениях балки определяются помощью интегралов Мора и способа Симпсона, то есть так же, как и в лабораторной работе 8. Грузовая и единичные эпюры для балки-консоли приведены на рис. 20, в, д, ж.

Далее выполняются пп.10,11,12, описанные в «Порядок выполнения работ», см. стр. 13.



а
б
в
г
д
е
ж
B
D
C
A
E
F_i
$И_1$
$И_2$
$\upsilon_{эксп}$
$\varphi_{эксп}$
L = 300 мм
$0{,}01 \cdot \Delta И_{2ср}$
ℓ = 0,6 м
a
b
b_1
d
x
y
z
R_A
m_A
H_A
$\Delta F_{ср}$
z_1
z_2
M_{xF}
$\Delta F_{ср} \cdot b$
$\overline{\Phi}_1 = 1$
$\overline{M}_{x1}$
$1 \cdot a$
$\overline{\Phi}_2 = 1$
$\overline{M}_{x2}$
1

Рис. 20

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 10
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ШАРНИРНО-ПОДВИЖНОЙ ОПОРЫ СТАТИЧЕСКИ ОПРЕДЕЛИМОЙ РАМЫ

Цель работы - определение опытным путем величины горизонтального перемещения шарнирно-подвижной опоры А и сравнение полученного экспериментального значения перемещения с теоретически вычисленным значением перемещения.

Работа выполняется на установке СМ 1Г. Исследуемый образец - портальная рама прямоугольного поперечного сечения размерами 49 х 7 мм^2 (рис. 21,а).

Экспериментальная часть. При нагружении рамы заданными силами, приложенными на заданных расстояниях а и b от верхних узлов рамы, шарнирно-подвижная опора А получает перемещение в горизонтальном направлении, величина которого измеряется индикатором часового типа И.

Работа проводится согласно порядку выполнения работ, см. стр. 13. Все полученные данные записываются в таблицу 6.

Таблица 6

Протокол механических испытаний

№ п/п	Вес груза F_i, Н	Разность смежных значений ΔF_i, Н	Показания первого индикатора И, дел	Разность смежных отсчетов по первому индикатору Δ И, дел
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
		Среднее арифметическое значение $\Delta F_{ÑÐ} = \frac{\sum \Delta F_i}{6}$		Среднее арифметическое значение $\Delta И_{СР} = \frac{\sum \Delta И_i}{6}$

Определяемая экспериментально величина $\Delta_{ЭКСП}$ – горизонтальное перемещение опоры А, фиксируемое индикатором И при действии нагрузки $\Delta F_{ср}$:

$$\Delta_{ЭКСП} = 0{,}01 \cdot \Delta И_{СР} \quad (мм)$$

Теоретический расчет. Нагрузим раму нагрузками $\Delta F_{ср}$ (рис. 21,б). Построим грузовую эпюру M_{XF} (рис. 21,в). Затем приложим к опоре А горизонтальную единичную силу $\Phi_1 = 1$ (рис. 21,г) и построим единичную эпюру M_{X1} (рис. 21,д). Теоретическое значение горизонтального перемещения определим с помощью интеграла Мора

$$\Delta_{ТЕОР.} = \sum_i \int_0^{l_i} \frac{M_{XF_i} \cdot M_{X1}}{EJ_X} dz.$$

Интеграл Мора вычисляется с помощью способа Симпсона. Далее выполняются пп.10,11,12, описанные в «Порядок выполнения работ», см. стр. 13.

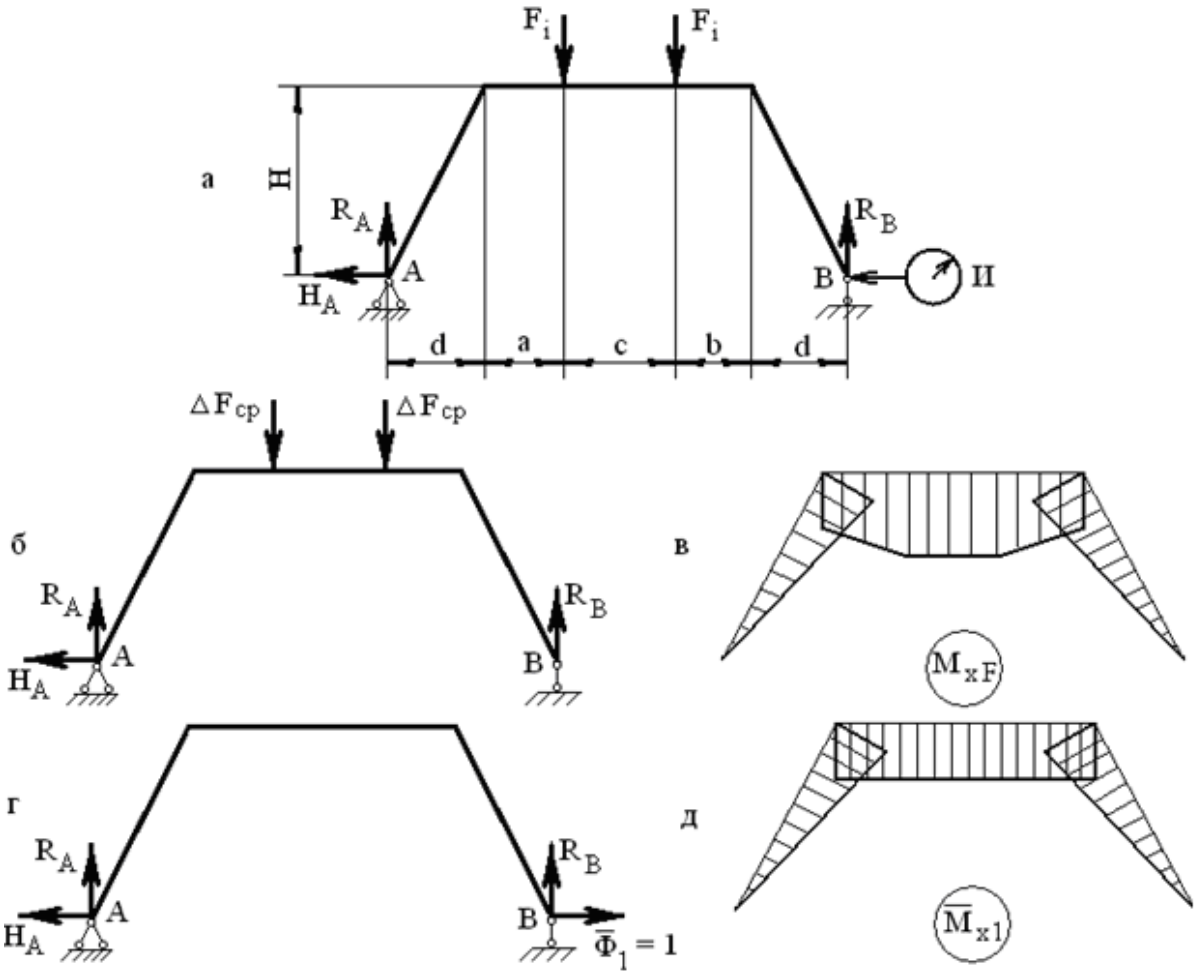


Рис. 21

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 11
ПЛОСКИЙ ИЗГИБ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМОЙ ОДНОПРОЛЕТНОЙ БАЛКИ

Цель работы – экспериментальное определение момента защемления в опоре статически неопределимой однопролетной балки и сравнение его с теоретически полученным результатом.

Количество реакций опор балки, изображенной на рис. 22,а равно 4. Для плоской системы сил имеем три независимых уравнения равновесия – на одно меньше числа неизвестных реакций. Поэтому балка является один раз статически неопределимой.

Работа выполняется на установке СМ 11А. Исследуемый образец – балка АВ (рис. 22,а) – изготовлен из стальной полосы постоянного прямоугольного сечения. Одна опора балки В – шарнирно-подвижная, другая А – имитирует жесткое защемление, то есть полную неподвижность закрепленного конца балки. Неподвижность в горизонтальном и вертикальном направлениях обеспечивается неподвижностью оси опорного подшипника А, к которой прикреплен конец балки. Поворот сечения конца балки на угол φ при изгибе балки от грузов F, компенсируется поворотом сечения конца балки на угол φ при изгибе балки от противовеса Q = 10 Н при помощи рычага, соединенного с той же осью подшипника (см. рис. 22,б). Контроль поворота концевого сечения и последующее возвращение его в первоначальное положение осуществляется при помощи индикатора часового типа И, наконечник измерительного стержня которого упирается в пятку стержня, жестко посаженного на ось подшипника.

*Экспериментальная часть***.** При действии грузов F на каждом этапе нагружения устанавливается такая длина рычага ρ противовеса Q, чтобы показания индикатора часового типа И не изменялись. В этом случае ось подшипника А, а с ней и конец балки оказывается в первоначальном положении, то есть деформированное состояние балки соответствует схеме, изображенной на рис. 22,а. Все полученные данные записываются в таблицу 6, в которой надо заменить верхнюю и нижнюю строки на следующие:

№ п/п	Вес груза F_i, Н	Разность смежных значений ΔF_i, Н	Длина рычага ρ, м	Разность смежных отсчетов Δρ, м
		Среднее арифметическое значение $\Delta F_{ÑÐ} = \frac{\sum \Delta F_i}{6}$		Среднее арифметическое значение $\Delta\rho_{ÑÐ} = \frac{\sum \Delta\rho_i}{6}$

Определяемая экспериментально величина - длина рычага ρ, на котором крепится противовес Q. По найденному значению $\Delta\rho_{СР}$ определяем искомый опорный момент $M_{A\,ЭКСП} = Q \cdot \Delta\rho_{СР}$ (Н м).

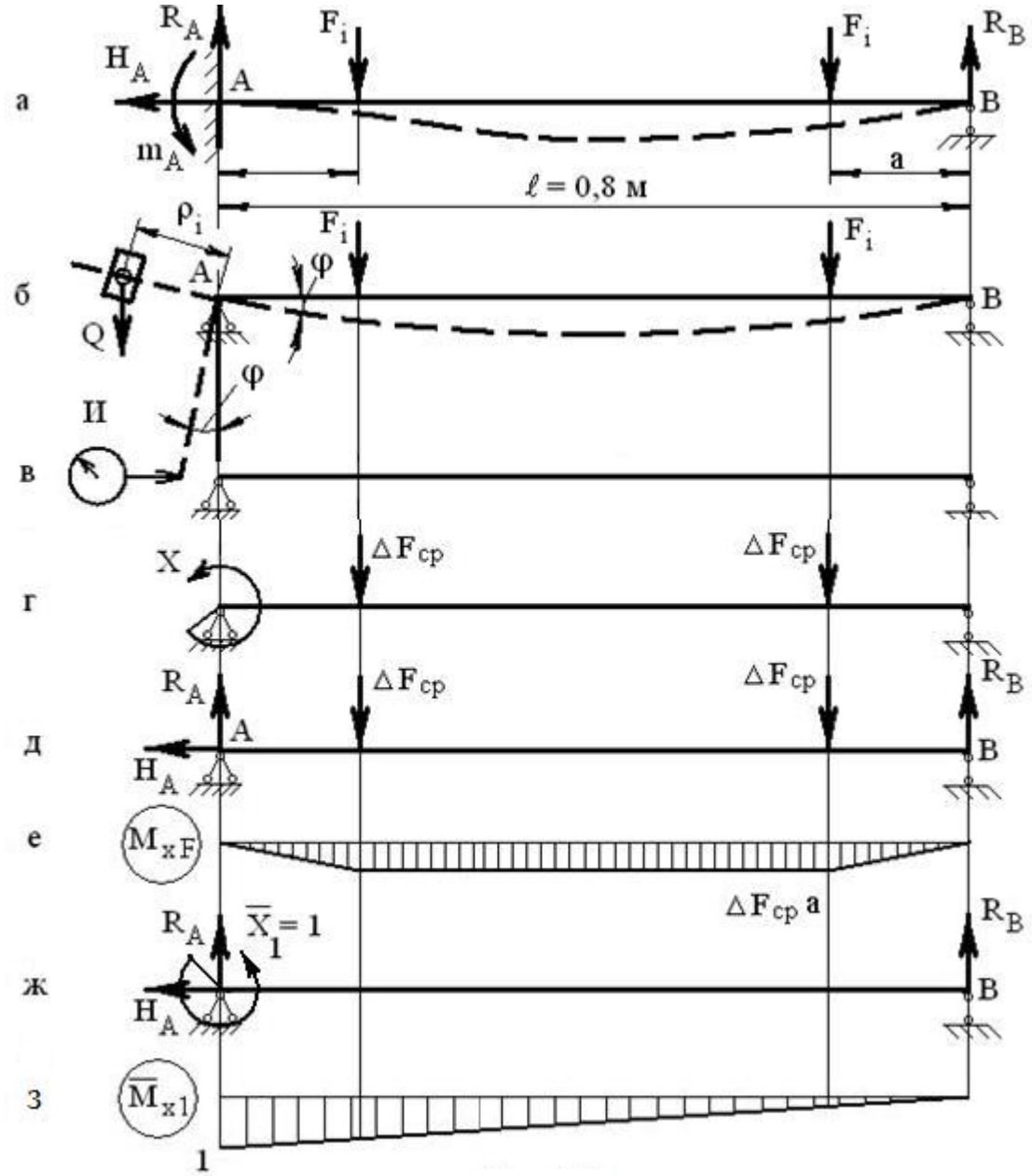


Рис. 22

Теоретический расчет. Выбираем основную систему. Защемление А заменяем шарнирно-неподвижной опорой (рис. 22,в). Загрузим основную систему силами ΔF_{CP}, добавляем неизвестный момент $X_1 = M_A$ и получим эквивалентную систему (рис. 22,г).

Построем от нагрузок ΔF_{CP} (рис. 22,д) грузовую эпюру M_{XF} (рис. 22,е) и от $\overline{X}_1 = 1$ (рис. 22,ж) единичную эпюру $\overline{M}_{x1}$ (рис. 22,з). Затем с помощью интегралов Мора и способа Симпсона вычислим δ_{11} и Δ_{1F}.

Подставим δ_{11} и Δ_{1F} в каноническое уравнение метода сил $\delta_{11} \cdot X_1 + \Delta_{1F} = 0$, из которого находим величину $X_1 = M_{A\ ТЕОР}$.

Далее выполняются пп.10,11,12, описанные в порядке выполнения работ, см. стр. 13.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 12
СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМАЯ ПОРТАЛЬНАЯ РАМА

Цель работы: экспериментальное определение величины распора статически неопределимой портальной рамы и сравнение его с величиной, вычисленной теоретически.

Работа выполняется на установке СМ 34М. Исследуемый образец – портальная рама прямоугольного сечения, установленная на двух шарнирно-неподвижных опорах А и В (рис. 23,а). Реакций опор - четыре, а уравнений равновесия статики три, поэтому степень статической неопределимости системы равна единице. Основная система изображена на рисунке 23б, а эквивалентная система на рисунке 23в. Эксперимент имитирует поведение шарнирно-подвижной опоры А как шарнирно-неподвижной опоры.

Экспериментальная часть. При нагружении рамы сосредоточенной нагрузкой шарнирно-подвижная опора А рамы получает перемещение в горизонтальном направлении, величина которого измеряется индикатором часового типа И. Для имитации поведения шарнирно-подвижной опоры А как шарнирно-неподвижной опоры перемещение в горизонтальном направлении должно равняться нулю. Для возврата шарнирно-подвижной опоры А в первоначальное положение используется устройство, которое состоит из горизонтально расположенного рычага, уравновешенного относительно оси качения, противовеса Q = 10 Н и стержня длиной ℓ = 0,06 м, жестко связанного с осью рычага (рис. 23г). Перемещая противовес по горизонтальному рычагу, можно вернуть стрелки индикатора И в исходное положение. При этом величина распора – горизонтальной опорной реакции H_A, может быть определена из условия равновесия распора и противовеса относительно оси горизонтального рычага – точки О.

Определяемая экспериментально величина - длина рычага противовеса ρ, при которой показания индикатора И сохраняют первоначальное положение, установленное при нулевой нагрузке.

Работа выполняется точно также, как лабораторная работа 11. Все полученные данные записываются в такую же таблицу. По среднему значению приращения $\Delta\rho_{CP}$ длины рычага противовеса ρ определим величину распора $H_{A\,ЭКСП} = Q \cdot \dfrac{\Delta\rho_{CP}}{\ell}$.

Теоретический расчет. Загрузим основную систему силами ΔF_{cp} (рис. 23д) и построем грузовую эпюру изгибающих моментов M_{XF} (рис. 23е). Затем приложим к опоре А горизонтальную единичную силу $\overline{X_1} = 1$ (рис. 23ж) и построем единичную эпюру изгибающих моментов $\overline{M}_{X1}$ (рис. 23з).

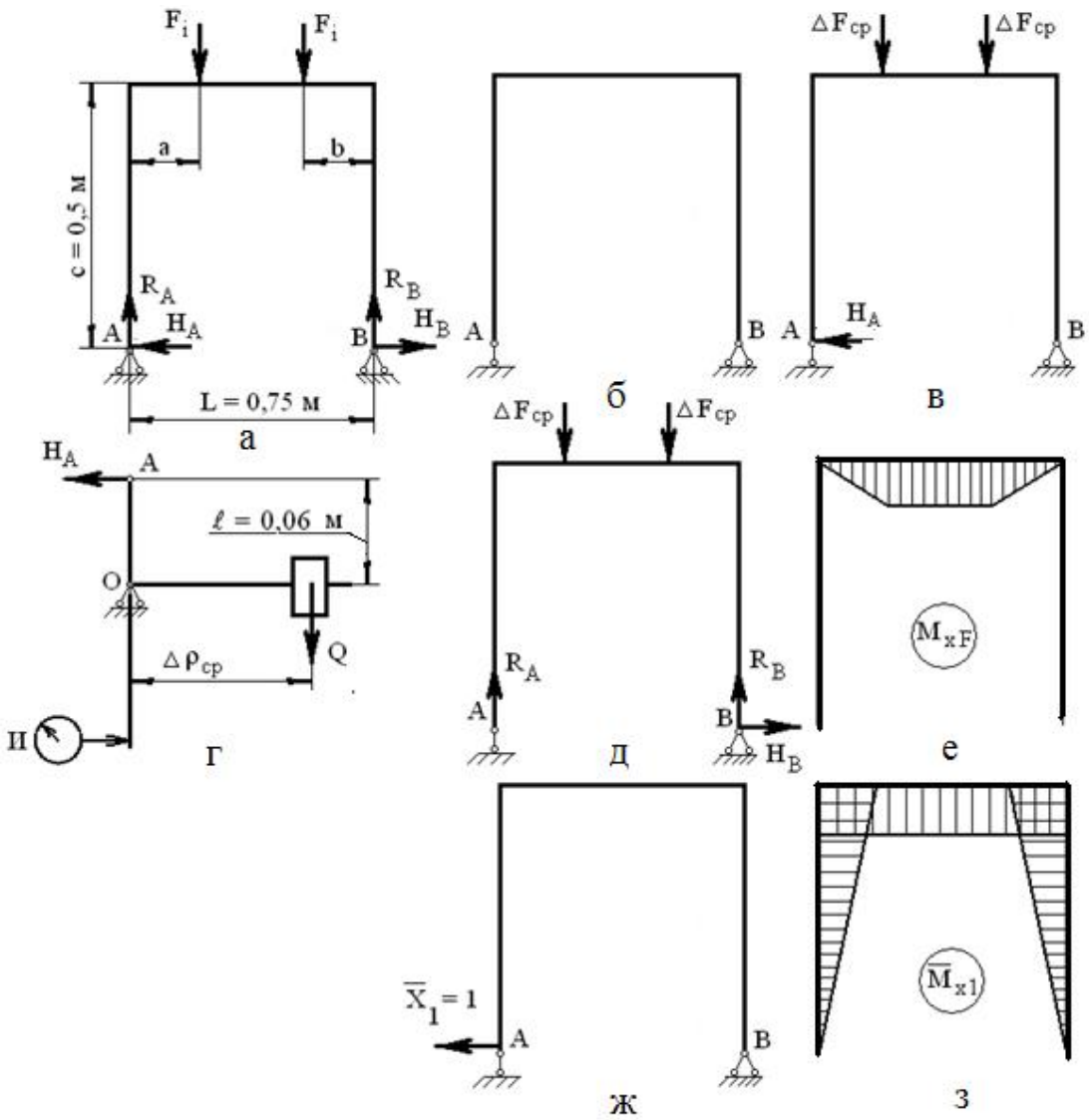


Рис. 23

Запишем каноническое уравнение метода сил

$$\delta_{11}X_1 + \Delta_{1F} = 0.$$

Единичный δ_{11} и грузовой Δ_{1F} коэффициенты канонического уравнения метода сил найдем с помощью интеграла Мора и способа Симпсона. Тогда

$$H_{A\,ТЕОР} = X_1 = \frac{\Delta_{1F}}{\delta_{11}}.$$

Далее выполняются пп.10,11,12, описанные в порядке выполнения работ, см. стр. 13.

Литература

1. ГОСТ 1497-84. Металлы. Методы испытания на растяжение [Текст]. – Взамен ГОСТ 1497-73; введ. 1986-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1993. – 35 с.

2. ГОСТ 16483.0-89. Древесина. Методы отбора образцов и общие требования при физико-механических испытаниях [Текст]. – Взамен ГОСТ 16483.0-78; введ. 1990-01-07. – М.: Изд-во стандартов, 1999. – 10 с.

3. ГОСТ 16483.10-73. Древесина. Методы определения предела прочности при сжатии вдоль волокон [Текст]. – Взамен ГОСТ 16483.10-72; введ. 1974-01-07. – М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 1999. – 6 с.

4. ГОСТ 16483.11-72. Древесина. Метод определения условного предела прочности при сжатии поперек волокон [Текст]. – Взамен ГОСТ 11492-65; введ. 1973-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1999. – 4 с.

5. ГОСТ 16483.5-73. Древесина. Методы определения предела прочности при скалывании вдоль волокон [Текст]. – Взамен ГОСТ 16483.5-70; введ. 1974-01-07. – М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 1999. – 6 с.

6. ГОСТ 3565-80. Металлы. Метод испытания на кручение [Текст]. –Взамен ГОСТ 3565-58; введ. 1980-30-05. – М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 1980. – 14 с.

7. ГОСТ 7564-97. Сталь. Общие правила отбора проб заготовок и образцов механических и технологических испытаний [Текст]. – Взамен ГОСТ 7564-73; введ. 1999-01-01. – Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации; – М.: Изд-во стандартов, 2002. – 12 с.

Тихонов Денис Александрович
Гильман Александр Абрамович

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО СОПРОТИВЛЕНИЮ МАТЕРИАЛОВ

Методические указания к выполнению лабораторных работ

Ответственный за выпуск Тихонов Д.А.
Оригинал-макет Тихонов Д. А.

413100, Россия, Саратовская область, г. Энгельс, пл. Свободы, 17

ЭТИ (филиал) СГТУ имени Гагарина Ю.А.

Регистрационный номер 27.