

Министерство образования и науки Челябинской области
Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение
«Южно-Уральский государственный технический колледж»

Методические рекомендации по выполнению
практических работ

по учебной дисциплине

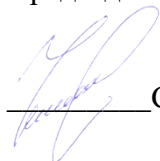
«Техническая механика»

для специальности 15.02.14 Оснащение средствами
автоматизации технологических процессов и производств (по
отраслям) (ТОП -50) (часть 1)

Челябинск 2022г.

Методические рекомендации
составлены в соответствии с
рабочей программой учебной
дисциплины «Техническая
механика» для
специальности 15.02.14
Оснащение средствами
автоматизации технологических
процессов и производств (по
отраслям) (ТОП -50)

ОДОБРЕНО
Предметной (цикловой)
комиссией
протокол № 9
от «27» мая 2022 г.
Председатель ПЦК


С.А. Ченцов

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора
по УМР

_____ Т.Ю Крашакова

«___» _____ 2022 г.

Автор – преподаватель ЮУрГТКШичкина Г.Н.

Акт согласования

методических рекомендаций по выполнению практических работ
по дисциплине «Техническая механика» (часть 1)
для студентов специальности 15.02.14 Оснащение средствами автоматизации
технологических процессов и производств (по отраслям) (ТОП -50),
разработанных преподавателем ЮУрГТК Шичкиной Г.Н.

Представленные методические рекомендации составлены в соответствии с программой учебной дисциплины, разработанной на основании требований к результатам освоения основной образовательной программы и требований к умениям и знаниям по дисциплине «Техническая механика» по специальности 15.02.14 Оснащение средствами автоматизации технологических процессов и производств (по отраслям) (ТОП -50), определенными ФГОС СПО.

Рассматриваемые методические рекомендации предусматривают выполнение 10-ти практических работ (16часов). Тематика практических работ охватывает следующие разделы дисциплины : «Теоретическая механика», «Сопротивление материалов», обеспечивает формирование умений, знаний по дисциплине (элементов компетенций выпускника), определяемые ФГОС по данной специальности. Содержание практических работ обеспечивает выполнение заданий второго уровня усвоения.

Методические рекомендации соответствуют уровню подготовки выпускника среднего профессионального образования, определяемые ФГОС и могут быть рекомендованы для использования в образовательном процессе по специальности 15.02.14 Оснащение средствами автоматизации технологических процессов и производств (по отраслям) (ТОП -50).

Технический директор ООО «Автоматика» Осипов А.В.



ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Методические рекомендации по выполнению практических работ предназначены для студентов специальности 15.02.14 Оснащение средствами автоматизации технологических процессов и производств (по отраслям) (ТОП - 50)

Практические работы являются важным элементом изучения учебной дисциплины. В результате выполнения практических работ студенты систематизируют и закрепляют теоретический материал, формируют элементы общих и профессиональных компетенций.

Рабочей программой учебной дисциплины предусмотрено выполнение практических работ в объеме 34 часов, направленных на формирование ***элементов следующих компетенций:***

ОК 01. Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности применительно к различным контекстам;

ОК 02. Осуществлять поиск, анализ и интерпретацию информации, необходимой для выполнения задач профессиональной деятельности;

ОК 04. Работать в коллективе и команде, эффективно взаимодействовать с коллегами, руководством, клиентами;

ОК05 Осуществлять устную и письменную коммуникацию на государственном языке с учетом особенностей социального и культурного контекста

ОК 09 Использовать информационные технологии в профессиональной деятельности

ОК 10. Пользоваться профессиональной документацией на государственном и иностранном языках;

ПК 1.1. Осуществлять анализ имеющихся решений для выбора программного обеспечения для создания и тестирования модели элементов систем автоматизации на основе технического задания.

ПК 2.2. Осуществлять монтаж и наладку модели элементов систем автоматизации на основе разработанной технической документации

ПК 3.1. Планировать работы по монтажу, наладке и техническому обслуживанию систем и средств автоматизации на основе организационно-распорядительных документов и требований технической документации

ПК 3.3. Разрабатывать инструкции и технологические карты выполнения работ для подчиненного персонала по монтажу, наладке и техническому обслуживанию систем и средств автоматизации

ПК 4.1. Контролировать текущие параметры и фактические показатели работы систем автоматизации в соответствии с требованиями нормативно-технической документации для выявления возможных отклонений.

Личностных результатов:

ЛР-4. Проявляющий и демонстрирующий уважение к людям, осознающий ценность собственного труда, стремящийся к формированию в сетевой среде личностного и профессионального конструктивного «цифрового следа».

ЛР-7. Осознающий приоритетную ценность личности человека, уважающий собственную и чужую уникальность в различных ситуациях во всех формах и видах деятельности.

умений:

- анализировать конструкции, заменять реальный объект расчетной схемой;
- применять при анализе механического состояния понятия и терминологию технической механики;
- выделять из системы тел рассматриваемое тело и силы, действующие на него;
- определять характер нагружения и напряженное состояние в точке элемента конструкций;
- выбирать детали и узлы на основе анализа их свойств для конкретного применения;
- проводить несложные расчеты элементов конструкции на прочность и жесткость;
- читать кинематические схемы;

- использовать справочную и нормативную документацию;
- выполнять кинематический анализ механизмов;
- выполнять динамический анализ механизмов;
- проектировать зубчатый механизм;
- конструировать узлы машин общего назначения по заданным параметрам;
- подбирать справочную литературу, стандарты, а также прототипы конструкций при проектировании

знаний:

- основные понятия и аксиомы теоретической механики, законы равновесия и перемещения тел;
- методики выполнения основных расчетов по теоретической механике, сопротивлению материалов и деталям машин;
- методику расчета элементов конструкций на прочность, жесткость и устойчивость при растяжении, сжатии, кручении и изгибе;
- методику определения статических и динамических нагрузок на элементы конструкций, кинематические и динамические характеристики машин и механизмов;
- основы проектирования деталей и сборочных единиц;
- основы конструирования;
- классификация механизмов и машин;
- принцип работы простейших механизмов;
- определение скоростей и ускорений звеньев кинематических пар;
- силы, действующие на звенья механизма;
- механические характеристики машин;
- критерии работоспособности деталей машин и виды отказов;
- основы теории и расчета деталей и узлов машин;
- типовые конструкции деталей и узлов машин, их свойства и области применения

Все практические работы содержат наименование, цель, перечень элементов формируемых умений, знаний, краткий теоретический материал, ход

выполнения работы, структуру отчета, контрольные вопросы (с целью выявления и устранения недочетов в освоении материала).

В практических работах приведены варианты индивидуальных заданий. Некоторые практические работы носят комплексный характер, т.е. результаты предыдущих практических работ являются исходными данными для выполнения последующих. В данных методических рекомендациях приведены работы, содержание которых предусматривает выполнение заданий второго уровня усвоения.

Отчеты студентов по практическим работам выполняются на листах формата А4 в соответствии со структурой отчетов, приведенными в методических рекомендациях.

Перечень практических работ

№ работы	Тема практических работ	Кол-во часов
1	Определение реакций связей	1
2	Определение реакций опор балочных систем	2
3	Определение реакций опор редукторного вала	2
4	Определение центра тяжести составного сечения	2
5	Определение параметров движения точки	1
6	Расчеты элементов конструкций на прочность и жесткость при растяжении (сжатии)	2
7	Выполнение расчетов шпоночных соединений на срез и смятие	1
8	Определение главных центральных моментов инерции составных сечений	1
9	Выполнение расчетов на прочность и жесткость при кручении	2
10	Построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов.	2
	всего	16

Практическая работа №1

Название практической работы: Определение реакций связей.

Цель: освоение методики определения реакций связей стержневой системы.

Умения (элементы):– анализировать конструкции, заменять реальный объект расчетной схемой;

-применять при анализе механического состояния понятия и терминологию теоретической механики;

-выделять из системы тел рассматриваемое тело и силы, действующие на него;

Знания (актуализация): - основных понятий теоретической механики, законов равновесия тел;

-методику выполнения основных расчетов по теоретической механике;

-методику определения статических нагрузок на элементы конструкций;

Теоретический материал

Система сил, линии действия которых лежат в одной плоскости и пересекаются в одной точке, называется плоской системой сходящихся сил.

Условие равновесия для данной системы сил в аналитической форме можно сформулировать следующим образом: *Плоская система сходящихся сил находится в равновесии, если равнодействующая сила системы равна нулю.*

Система уравнений равновесия плоской сходящейся системы сил:

$$\begin{cases} \sum_{k=0}^n F_{kx} = 0; \\ \sum_{k=0}^n F_{ky} = 0. \end{cases}$$

Величина проекции силы на ось равна произведению модуля силы на косинус острого угла между вектором силы и осью (рисунок 1;а). Проекция силы на ось имеет знак: положительный при одинаковом направлении вектора силы и оси и отрицательный при направлении вектора силы

противоположно положительному направлению оси (рисунок 1; а) $F_{1x} = F_1 \cos \alpha_1$; $F_{2x} = -F_2 \cos \beta_2$

Частные случаи определения проекции силы на ось:

1. если сила *параллельна* оси, то ее проекция на эту ось *равна величине вектора силы* (рисунок 1, в); $F_{4x} = F_4$

2. если сила *перпендикулярна* оси, то ее проекция на эту ось *равна нулю* (рисунок 1, б); $F_{3x} = 0$

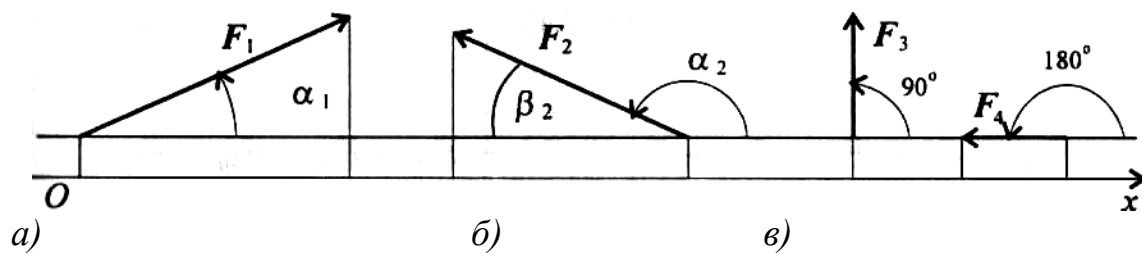


Рисунок 1 - Проекция силы на ось.

В данной практической работе, используя уравнения равновесия плоской системы сходящихся сил, требуется определить реакции двух шарнирно соединенных между собой стержней, удерживающих грузы.

Пример. Определить реакции стержней, удерживающих грузы $F_1 = 70$ кН и $F_2 = 100$ кН (рис. 2, а).

Решение.

I. Рассматриваем равновесие шарнира В (рис.1, а)

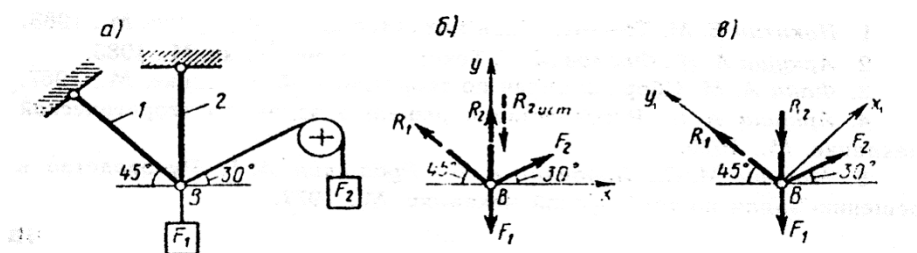


Рисунок 2 - Схема расчета к примеру

2. Освобождаем шарнир В от связей и изображаем действующие на него активные силы F_1 , F_2 .

3. Заменяем связи их реакциями R_1 , R_2

4. Выбираем систему координат, совместив ось y по направлению R_2 (рис. 2, б) и составляем уравнения равновесия для системы сил, действующих на шарнир В:

$$\sum F_{ix} = F_2 \cdot \cos 30^\circ - R_1 \cdot \cos 45^\circ = 0 \quad (1)$$

$$\sum F_{iy} = -F_1 + F_2 \cdot \cos 60^\circ + R_2 + R_1 \cdot \cos 45^\circ = 0 \quad (2)$$

5. Определяем реакции стержней R_1 и R_2 , кН:

Из уравнения (1)

$$R_1 = \frac{F_2 \cdot \cos 30^\circ}{\cos 45^\circ} = \frac{100 \cdot 0,866}{0,707} = 122 \text{ кН}$$

Подставляя найденное значение R_1 в уравнение (2), получаем

$$R_2 = F_1 - F_2 \cdot \sin 30^\circ - R_1 \cdot \sin 45^\circ = 70 - 100 \cdot 0,5 - 122 \cdot 0,707 = -66,6 \text{ кН}$$

Знак минус перед значением R_2 указывает на то, что первоначально выбранное направление реакции неверно, следует направить реакцию R_2 в противоположную сторону, т.е. к шарниру В (на рис. 2, б) (истинное направление реакции R_2 показано штриховым вектором).

6. Проверяем правильность полученных результатов, выбрав новое расположение осей координат X_1, Y_1 (рис. 2, в). Относительно этих осей составляем уравнения равновесия:

$$\sum F_{ix1} = -R_2 \cdot \cos 45^\circ + F_2 \cdot \cos 15^\circ - F_1 \cdot \cos 45^\circ = 0, \quad (3)$$

$$\sum F_{iy1} = R_1 - F_1 \cdot \cos 45^\circ - R_2 \cdot \cos 45^\circ - F_2 \cdot \cos 75^\circ = 0. \quad (4)$$

Из уравнения (3) находим

$$R_2 = \frac{F_2 \cdot \cos 15^\circ - F_1 \cdot \cos 45^\circ}{\cos 45^\circ} = \frac{100 \cdot 0,965 - 70 \cdot 0,707}{0,707} = 66,6 \text{ кН}$$

Подставляя найденное значение R_2 в уравнение (4), получаем

$$R_1 = 70 \cdot 0,707 + 66,6 \cdot 0,707 + 100 \cdot 0,258 = 122 \text{ кН}$$

Значения реакций R_1 и R_2 , полученные при решении уравнений (1) и (2), совпадают по величине и направлению со значениями, найденными из уравнений (3) и (4), следовательно, задача решена правильно.

Задание: Определить реакции стержней (рисунок 3).

Ход работы:

1. Определить исходные данные для работы, в соответствие со своим вариантом (таблица 1).

Таблица 1 – Исходные данные к практической работе №1.

№ варианта	№ схемы	F ₁ кН	F ₂ кН	№ варианта	№ схемы	F ₁ кН	F ₂ кН
1	2	3	4	1	2	3	4
1	1	2	3	13	4	20	22
2	2	4	5	14	5	2	4
3	3	6	7	15	6	5	6
4	4	8	9	16	7	8	4
5	5	10	11	17	8	12	15
6	6	20	30	18	9	2	3
7	7	22	24	19	10	4	5
8	8	8	10	20	1	7	8
9	9	5	6	21	2	12	10
10	10	4	7	22	3	6	8
11	1	10	12	23	4	2	5
12	2	8	10	24	5	3	5

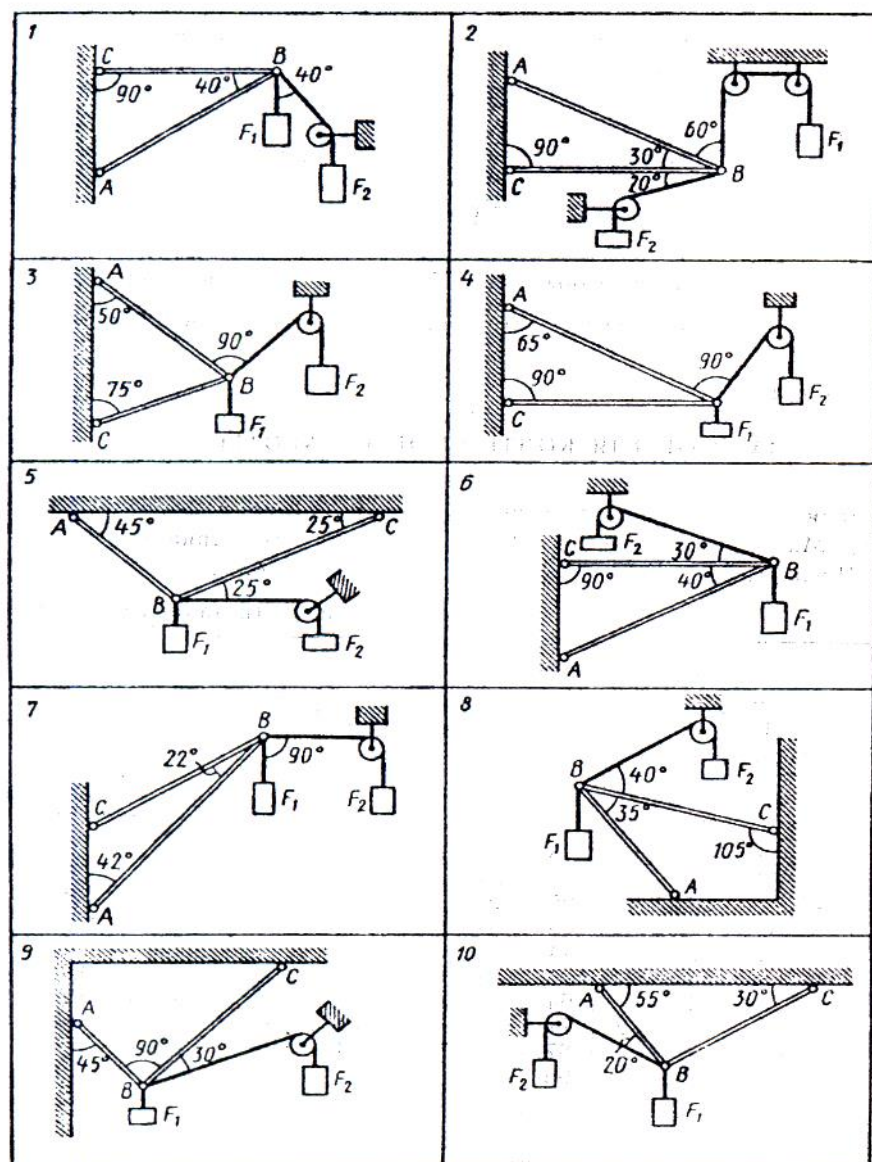


Рисунок 3 - Схемы нагружения стержней к практической работе №1

2. Выбрать тело (точку), равновесие которого следует рассматривать.
3. Освободить тело от связей и изобразить действующие на него активные силы и реакции отброшенных связей.
4. Выбрать оси координат и составить уравнения равновесия, используя уравнения равновесия системы сходящихся сил.
5. Определить реакции стержней из решения указанной системы уравнений.
6. Проверить правильность полученных результатов
7. Сделать вывод по работе.

8. Ответить на контрольные вопросы:

- 1). Запишите формулы для определения проекции силы на ось.
- 2). При каких условиях проекция силы на ось будет равна нулю? величине силы?
- 3). Сформулируйте условное правило знаков проекции силы на ось.
- 4). Запишите условие и уравнения равновесия плоской сходящейся системы сил.

Структура отчета по практической работе

1. Номер и название практической работы
2. Цель:
3. Задание:
4. Схема нагружения.
5. Расчетная схема.
6. Уравнения равновесия.
7. Проверка правильности решения.
8. Ответ.
9. Вывод по работе.
10. Ответы на контрольные вопросы.

Практическая работа №2.

Название практической работы: Определение реакций опор балочных систем.

Цель: Формирование умений выполнять расчет реакций связей 2-х опорной и консольной балок.

Умения: анализировать конструкции, заменять реальный объект расчетной схемой;

-применять при анализе механического состояния понятия и терминологию теоретической механики;

-выделять из системы тел рассматриваемое тело и силы, действующие на него;

Знания (актуализация): - основных понятий теоретической механики, законов равновесия тел;

-методику выполнения основных расчетов по теоретической механике;

-методики определения статических нагрузок на элементы конструкций;

Теоретический материал

Балка- деталь, выполненная в виде прямолинейного бруса с одной опорой (жесткая заделка, рис.1в) или двумя шарнирными опорами: шарнирно подвижной (рис.1б), и шарнирно неподвижной(рис1а).

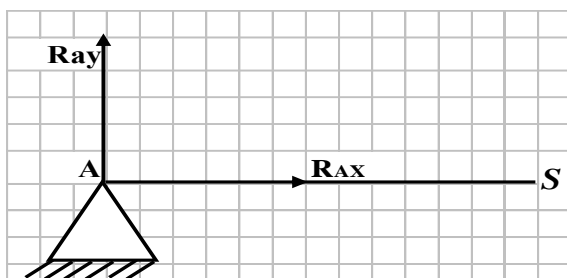


Рисунок 1а - Шарнирно-неподвижная опора

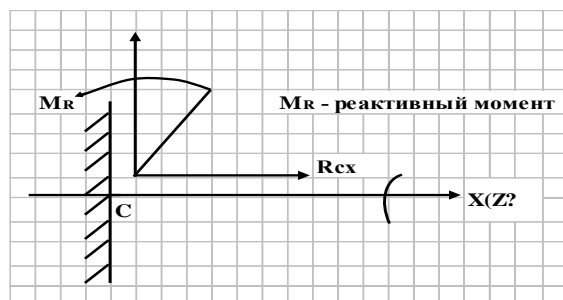


Рисунок 1в - Жесткая заделка

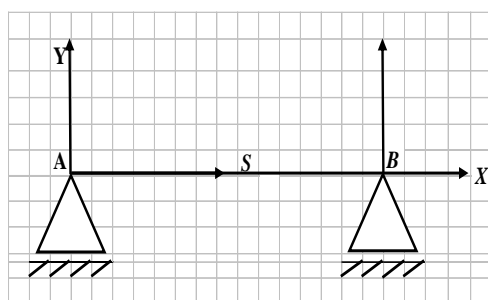


Рисунок1б - Шарнирно-подвижная опора

Внешние силы (нагрузки), действующие на балку (рис.3):

а) F - сосредоточенная сила, приложенная в (\cdot) D (рис. 3);

б) m - сосредоточенный момент пары сил в (\cdot) C (рис.3) ;

в) равномерно распределенная нагрузка, интенсивностью q на участке СВ; при решении задач эту нагрузку заменяют равнодействующей F_q , имеющей направление нагрузки, приложенной посередине длины действия нагрузки

$$F_q = q \cdot \ell \text{ (рис2);}$$

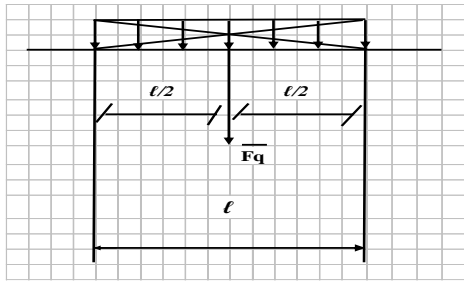


Рисунок 2 - Равномерно распределенная

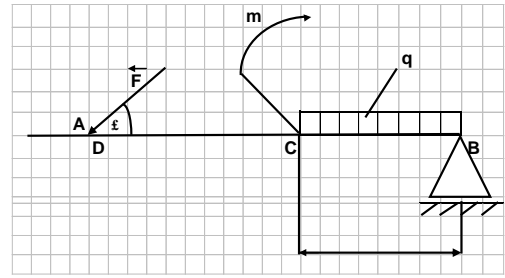


Рисунок 3 - Нагрузка, действующая на балку

Силу F , приложенную под углом к оси балки, при решении задач необходимо разложить на 2 взаимно перпендикулярные составляющие:

$$F_x = F \cdot \cos \alpha; \quad F_y = F \cdot \cos \beta \text{ (рис.4)}$$

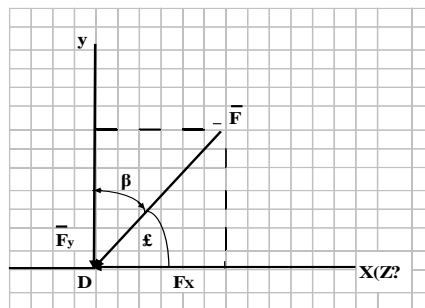


Рисунок 4 - Разложение силы на составляющие

В задачах, предложенных в данной практической работе, на балку действует плоская произвольно расположенная система сил (активных и реактивных). Для определения реакций опор необходимо составить уравнения равновесия.

Возможны для плоской произвольной системы сил три формы уравнений равновесия:

	$\sum F_{kx} = 0$	$\sum M_a(\bar{F}_k) = 0$	$\sum M_a(\bar{F}_k) = 0$
1 форма:	$\sum F_{ky} = 0$	2 форма:	$\sum M_B(\bar{F}_k) = 0$
	$\sum M_a(\bar{F}_k) = 0$		3 форма:
		$\sum F_{kx} = 0$	$\sum M_C(\bar{F}_k) = 0$

Для решения задач в практической работе рекомендуется 2 –ая форма уравнений равновесия. Для составления уравнений равновесия необходимо уметь определять проекцию силы на оси координат.

Проекция силы на ось равна произведению величины силы (модуля) на косинус *острого* угла между направлением силы и направлением оси.

Частные случаи определения проекции силы на ось:

а) если $F \parallel X$, то $F_x = F$;

б) если $F \perp X$ то $F_x = 0$.

Условное правило знаков проекции силы на ось:

-проекция (+), если направление силы совпадает с положительным направлением оси; проекция (-), если направление силы и оси противоположны.

Момент силы относительно точки равен произведению величины силы на плечо:

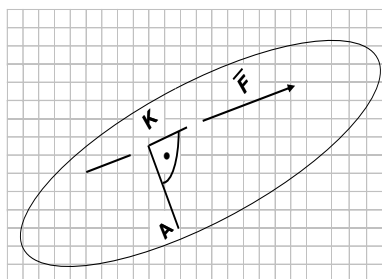
$$M_A(F) = F \cdot /AK/ \quad (\text{рисунок 5}),$$

где AK – *плечо силы* – кратчайшее расстояние от (·) A до линии действия силы.

Правило знаков момента силы относительно точки:

момент силы (+), если F стремится повернуть тело по часовой стрелке.

момент силы (-) , если против часовой стрелки вокруг точки A .



Частный случай: $M_K(F) = 0$, если линия действия силы проходит через точку K .

Рисунок 5 - Вращательное действие
силы F вокруг точки A .

3. Рассмотрим несколько примеров.

3.1 Пример №1.

Определить опорные реакции двух опорной балки (рисунок 7)

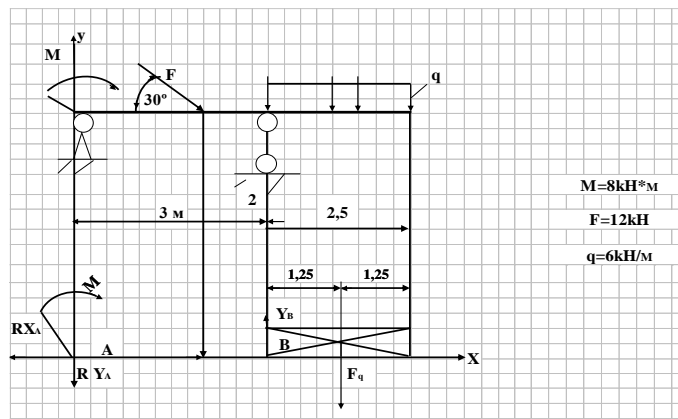


Рисунок 6 - Расчетная схема к примеру 1.

3.1.1. Замена равномерно-распределенной нагрузки сосредоточенной силой F_q .

$$F_q = q \cdot l = 6 \cdot 2.5 = 15 (\text{кН})$$

3.1.2. Разложение наклонной силы F на две составляющие:

$$F_x = F \cdot \cos 30^\circ = 12 \cdot 0.86 = 10.32 (\text{кН})$$

$$F_y = F \cdot \cos 60^\circ = 12 \cdot 0.5 = 6 (\text{кН})$$

3.1.3. Выбор положения прямоугольной системы координат.

3.1.4. Обозначение характерных точек.

3.1.5. Замена связи их реакциями.

3.1.6. Составление уравнений равновесия.

$$\sum F_{kx} = -R_{xa} + F_x = 0$$

$$\sum M_A = M + F_y \cdot AC - R_{yb} \cdot AB + F_q \cdot AD = 0$$

$$\sum M_B = M + R_{ya} \cdot AB - F_y \cdot CB + F_q \cdot BD = 0$$

3.1.7. Вычисление опорных реакций.

$$R_{xa} = F_x = 10.32 \text{ кН}$$

$R_{YB} =$	$M + F_y \cdot AC + F_q \cdot AD =$	$8 + 6 \cdot 3 + 15 \cdot 6.25 =$	23.95 кН
	AB	5	
$R_{YA} =$	$F_y \cdot CB - M - F_q \cdot BD =$	$6 \cdot 2 - 8 - 15 \cdot 1.25 =$	-2.95 кН
	AB	5	

Если полученная реакция имеет знак (-), то следует сменить направление опорной реакции на противоположное.

3.1.8. Проверка: доказать, что $\sum F_{ky} = 0$

$$\sum F_{ky} = R_{YA} - F_y + R_{YB} - F_q = -2,95 - 6 + 23,95 - 15 = 23,95 - 23,95 = 0$$

Вывод: решение верно.

3.1.9. Ответ: $R_{XA} = 10,32 \text{ кН}$; $R_{YA} = 2,95 \text{ кН}$; $R_{YB} = 23,95 \text{ кН}$

3.2. Пример №2.

Определить опорные реакции жестко заземленной балки. Требуется определить: R_{YA} , R_{YA} , M_R (рисунок 8)

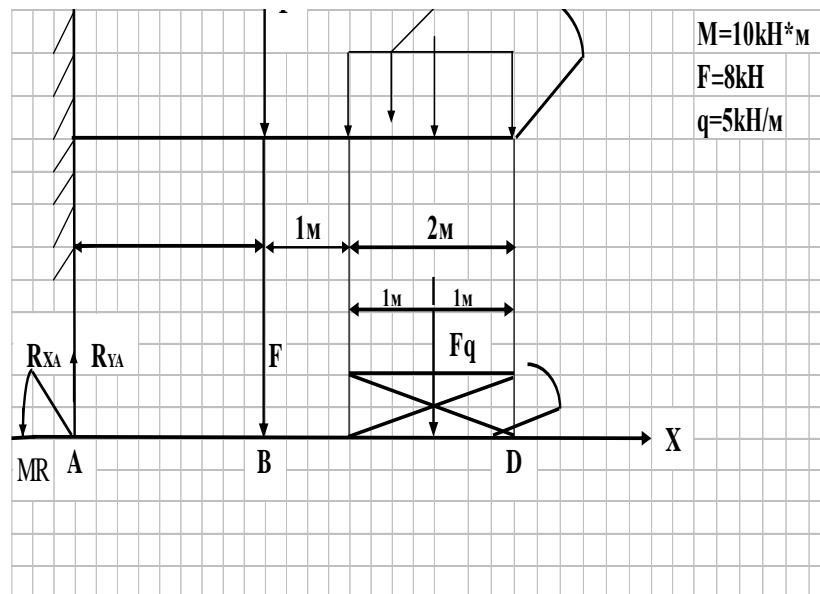


Рисунок 7- Расчетная схема к примеру 2.

3.2.1. Замена равномерно – распределенной нагрузки силой F_q

$$F_q = q \cdot \ell = 5 \cdot 2 = 10 \text{ кН}$$

3.2.2. Выбор положения прямоугольной системы координат.

3.2.3. Замена связи реакциями связей R_{YA} , R_{YA} , M_R

3.2.4. Составление уравнений равновесия.

$$\sum F_{kx} = R_{XA} = 0$$

$$\sum F_{ky} = R_{YA} - F - F_q = 0$$

$$\sum M_A = M_R + F \cdot AB + F_q \cdot AC - M = 0$$

3.2.5. Вычисление опорных реакций.

$$R_{XA} = 0$$

$$R_{YA} = F + F_q = 8 + 10 = 18 \text{ кН}$$

$$M_R = F \cdot AB + F_q \cdot AC - M = 8 \cdot 2 + 10 \cdot 4 - 10 = 46 \text{ кН}$$

3.2.6. Проверка: доказать, что $\sum M_B = 0$

$$\Sigma M_B = -M_R + R_{YA} \cdot AB + F_q \cdot BC - M = -46 + 18 \cdot 2 + 10 \cdot 2 - 10 = 56 - 56 = 0$$

Вывод: решение верно

3.2.7. Ответ: $R_{XA} = 0$; $R_{YA} = 18 \text{ кН}$; $M_R = 46 \text{ кНм}$

Задание к практической работе: Определить реакции связей балок, нагруженных плоской системой произвольно расположенных сил, приведенных на рисунке 8.

Ход выполнения работы

1. Определить исходные данные для работы, в соответствии со своим вариантом (таблица 1).

Таблица 1 - Исходные данные к задачам № 1,2

№ варианта	№ схемы	F ₁ , кН	F ₂ , кН	F ₃ , кН	M ₁ , кНм	M ₂ , кНм
1	1	4	15	10	3	15
2	2	6	10	8	6	18
3	3	8	6	11	7	20
4	4	10	9	17	8	2
5	5	12	14	24	9	6
6	6	15	17	28	10	15
7	7	16	20	3	11	12
8	8	19	4	15	12	7
9	9	20	30	25	13	9
10	10	25	32	13	14	10
11	1	6	25	6	2	15
12	2	32	10	7	4	6
13	3	35	12	8	6	12
14	4	20	18	9	18	5
15	5	14	10	12	8	7
16	6	15	9	7	10	11
17	7	7	6	19	12	10
18	8	3	11	20	15	5
19	9	5	9	2	9	6
20	10	16	20	24	10	9
21	1	3	5	6	4	25
22	2	7	13	8	10	4
23	3	12	10	32	5	7
24	4	9	14	28	13	6
25	5	25	18	23	11	9
26	6	20	16	24	10	5

1		
2		
3		
4		
5		

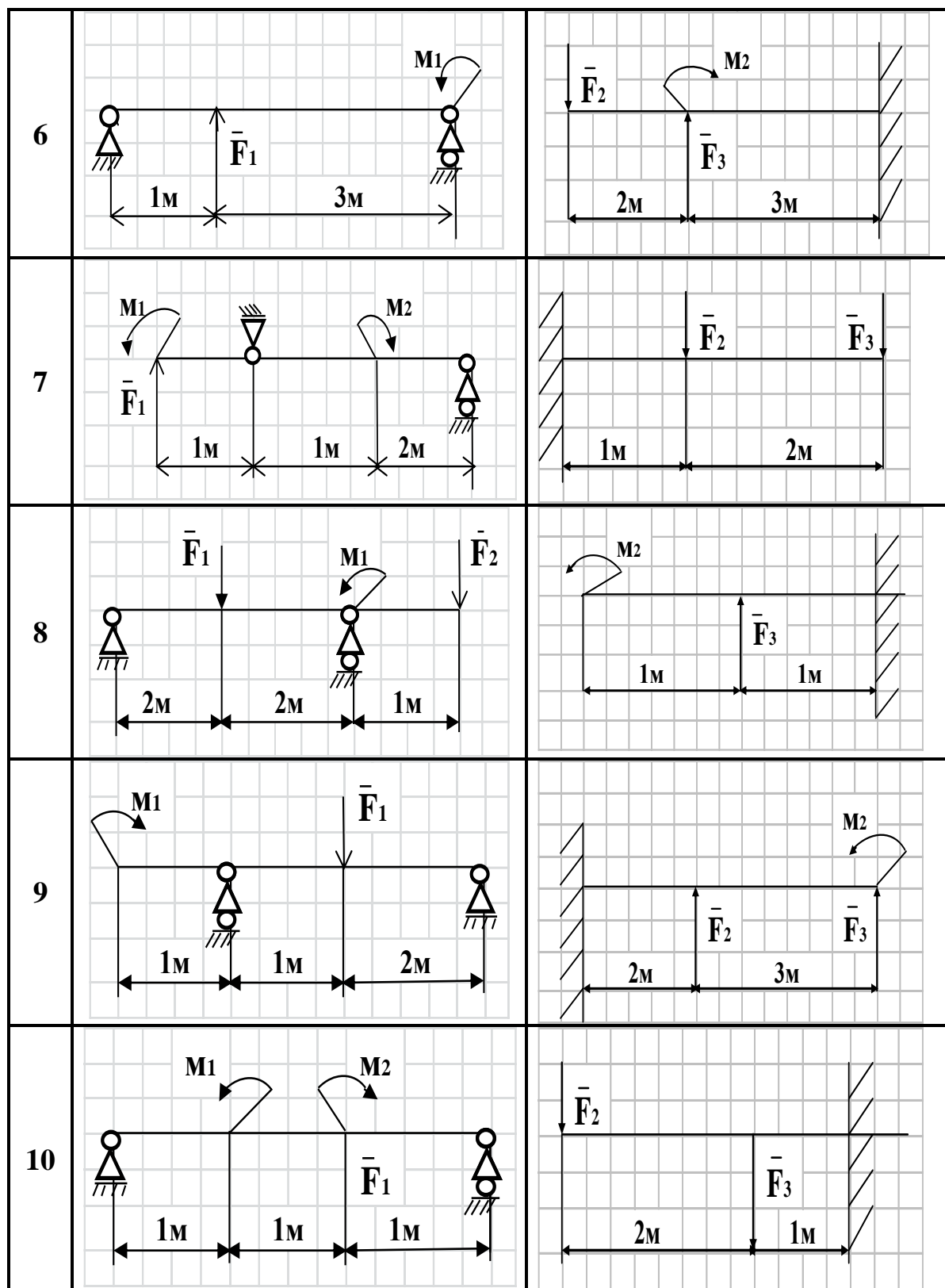
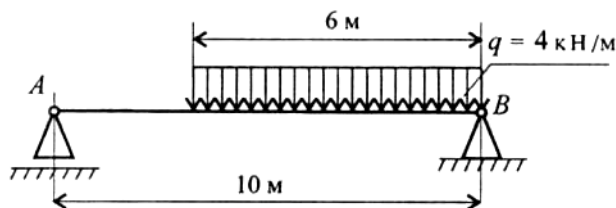


Рисунок 8 - Схемы нагружения к задачам № 1.2

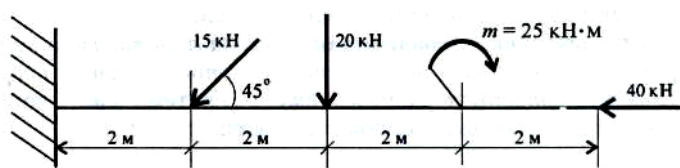
2. Изобразить балку с заданными нагрузками с указанием их модулей в соответствии с вариантом.

3. Составить расчетную схему:

- 3.1. Выбрать оси координат x и y , совместив ось x с балкой, а ось y перпендикулярно оси x .
- 3.2. Равномерно распределенную нагрузку заменить ее равнодействующей F_q .
- 3.3. Освободить балку от опор и заменить их реакциями связей.
4. Составить уравнения равновесия статики для произвольной системы сил так, чтобы в каждом из уравнений была одна неизвестная реакция связи.
5. Проверить правильность определения реакций опор уравнениями равновесия, которые не использовались для решения задачи.
6. Сформулировать вывод по работе.
7. Ответить на контрольные вопросы:
 - 1). Запишите уравнения равновесия для плоской произвольной системы сил.
 - 2). Запишите формулу для определения момента силы относительно точки.
 - 3). При каком условии момент силы относительно точки будет равен нулю?
 - 4). Сформулируйте условное правило знаков момента силы относительно точки.
 - 5). Замените равномерно распределенную нагрузку сосредоточенной силой и определите расстояние от точки ее приложения до точки A .



- 6). Определите реактивный момент в заделке.



Структура отчета по практической работе:.

- 1.Номер и название практической работы
- 2.Цель:
- 3.Задание к практической работе.
- 4.Задача №1
 - 4.1.Схема нагружения с указанием модулей приложенных нагрузок.
 - 4.2. Расчетная схема
 - 4.3. Уравнения равновесия
 - 4.4 Проверка правильности решения
 - 4.5. Ответ
5. Задача №2
 - 5.1.Схема нагружения с указанием модулей приложенных нагрузок.
 - 5.2. Расчетная схема
 - 5.3. Уравнения равновесия
 - 5.4 Проверка правильности решения
 - 5.5. Ответ
6. Вывод по работе
- 7.Ответы на контрольные вопросы.

Практическая работа №3

Название практической работы: Определение реакций опор редукторного вала.

Цель: овладение методикой составления и решения системы уравнений равновесия для пространственной произвольной системы сил.

Умения (элементы): анализировать конструкции, заменять реальный объект расчетной схемой;

-применять при анализе механического состояния понятия и терминологию теоретической механики;

-выделять из системы тел рассматриваемое тело и силы, действующие на него;

Знания (актуализация): -основных понятий теоретической механики, законов равновесия тел;

-методики выполнения основных расчетов по теоретической механике;

-методики определения статических нагрузок на элементы конструкций;

Теоретический материал.

Пространственная произвольная система сил – это система сил, линии действия которых расположены в разных плоскостях и не пересекаются в одной точке. Вращательная способность силы относительно оси оценивается ее моментом. *Момент силы относительно точки определяется моментом проекции силы на плоскость, перпендикулярную оси, относительно точки пересечения оси и плоскости (рис 1а).*

$$M_{\text{оси}} = \text{пр}F \cdot a,$$

где $\text{пр}F$ – проекция силы на плоскость, перпендикулярной оси,
 a – длина перпендикуляра, опущенного из точки пересечения оси и плоскости на проекцию силы на плоскость.

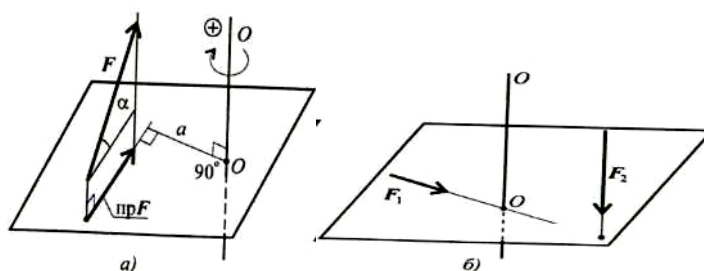


Рисунок 1 - Момент силы относительно оси

Момент силы относительно оси считается положительным, если сила стремится повернуть абсолютно твердое тело по часовой стрелке при взгляде с положительного конца оси.

Если линия силы *параллельна оси или пересекает ось*, то момент силы относительно оси *равен нулю (рис.1б).*

Пространственная произвольная система сил при приведении к центру заменяется главным вектором $F_{\text{гл}}$, равным векторной сумме приведенных сил и главным моментом $M_{\text{гл}}$, равным алгебраической сумме моментов приводимых сил относительно центра приведения.

Пространственная произвольная система сил находится в равновесии при условии: $F_{\text{гл}} = 0; M_{\text{гл}} = 0$.

В случае равновесия выполняются 6 уравнений равновесия:

$$\Sigma M_{ix} = 0; \quad \Sigma M_{iy} = 0; \quad \Sigma M_{iz} = 0; \quad \Sigma F_{ix} = 0; \quad \Sigma F_{iy} = 0; \quad \Sigma F_{iz} = 0.$$

Пример расчета

Задание: На вал жестко насажены шкив и колесо, нагруженные как показано на схеме (рисунок 2). Определить силы F_2 , $F_{r2} = 0,4F_2$, а также реакции подшипников.

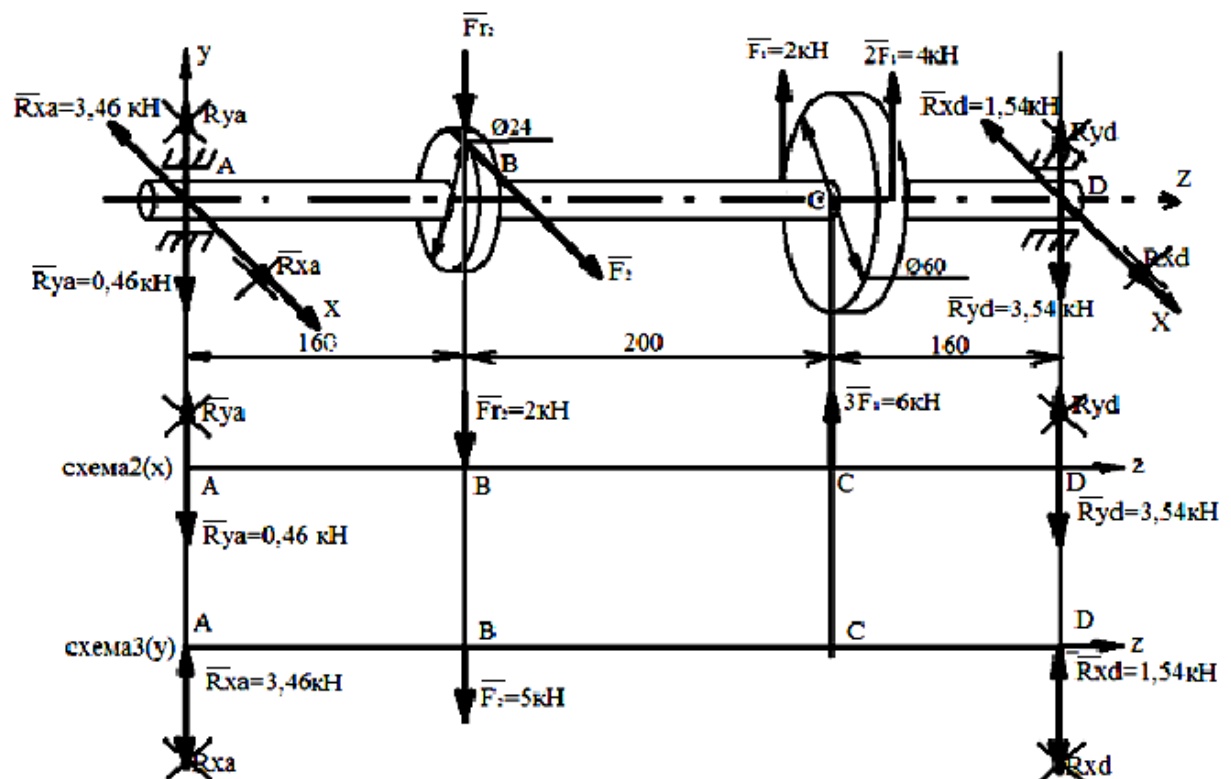


Рисунок 2 - Расчетная схема редукторного вала

1.Спроецируем схему нагружения в плоскость, перпендикулярную оси Z (рис.3) и составим уравнение равновесия:

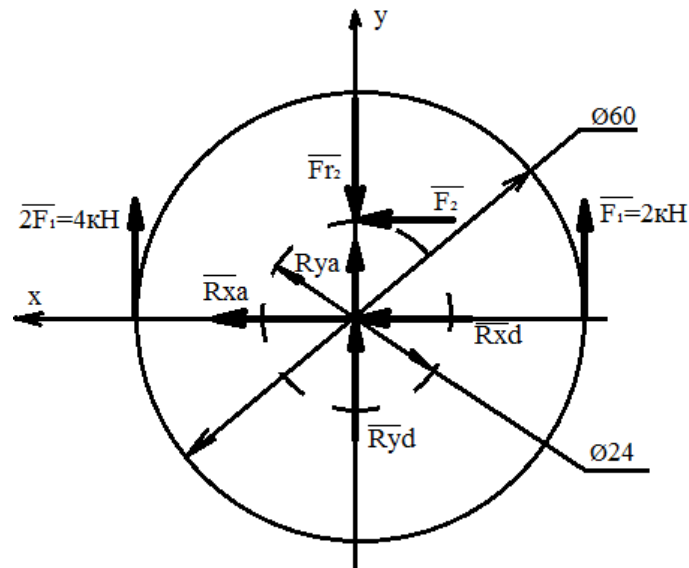


Рисунок 3 - Проекция схемы нагружения в плоскость \perp оси Z

$$\Sigma M_{iz} = \Sigma M_A = 0; \text{ (рис.3)}$$

$$-F_2 \cdot \frac{24}{2} - 2 \cdot \frac{60}{2} + 2 \cdot 2 \cdot \frac{60}{2} = 0;$$

$$-F_2 \cdot 12 = 60 - 120;$$

$$F_2 = \frac{-60}{-12} = 5(\text{kH}); \quad F_{r2} = 0,4F_2 = 0,4 \cdot 5 = 2(\text{kH})$$

2. Спроецируем схему нагружения в плоскость, перпендикулярную оси X (рис.2, схема 2) и составим уравнения равновесия: $\Sigma M_x = 0$; $\Sigma M_x^I = 0$

$$\Sigma M_x = \Sigma M_A = 0; \quad 2 \cdot 160 - 6 \cdot 360 - R_{yD} \cdot 520 = 0;$$

$$-R_{yD} \cdot 520 = -320 + 2160;$$

$$R_{yD} = -3,54 \text{ (кН)}$$

$$\Sigma M_D = 0; \quad R_{yA} \cdot 520 - 2 \cdot 360 = 6 \cdot 160 = 0;$$

$$R_{yA} \cdot 520 = 720 - 960;$$

$$R_{yA} = -0,46 \text{ (кН)}$$

3. Проверка правильности решения (рисунок 2, схема 2): Доказать, что

$$\Sigma F_{iy} = 0; \quad -0,46 - 2 + 6 - 3,54 = 0.$$

Реакции R_{yD} , R_{yA} определены верно.

4. Спроецируем схему нагружения в плоскость, перпендикулярную оси У (рис.2, схема 3) и составим уравнения равновесия: $\Sigma M_y = 0$; $\Sigma M_y^I = 0$:

$$\Sigma M_y = \Sigma M_A = 0; \quad 5 \cdot 160 + R_{XD} \cdot 520 = 0;$$

$$R_{XD} = -1,54 \text{ (кН)} ;$$

$$\Sigma M_D = 0; \quad - R_{XA} \cdot 520 - 5 \cdot 360 = 0;$$

$$R_{XA} = -3,46 \text{ (кН)}$$

5. Проверка правильности решения (рисунок2,схема3):

$$\text{Доказать, что } \Sigma F_{IX} = 0; -3,46 + 5 - 1,54 = 0.$$

Реакции R_{XD} , R_{XA} определены верно.

Задание к практической работе: На вал жестко насажены шкив и колесо, нагруженные как показано на схеме (рисунок4). Определить силы F_2 , $F_{r2} = 0,4F_2$, а также реакции подшипников.

Ход выполнения работы.

1. Определить исходные данные для работы, в соответствии со своим вариан-том (таблица 1).

Таблица 1 - Исходные данные к практической работе №4

№ варианта	№ схемы	F ₁ , кН	№ варианта	№ схемы	F ₁ , кН	№ варианта	№ схемы	F ₁ , кН
1	1	2	11	1	3	21	1	1
2	2	4	12	2	5	2	2	4
3	3	6	13	3	7	23	3	3
4	4	8	14	4	9	24	4	6
5	5	10	15	5	4	25	5	4
6	6	1	16	6	1	26	6	8
7	7	3	17	7	6	27	7	2
8	8	5	18	8	4	28	8	1
9	9	7	19	9	3	29	9	5
10	10	9	20	10	2	30	10	4

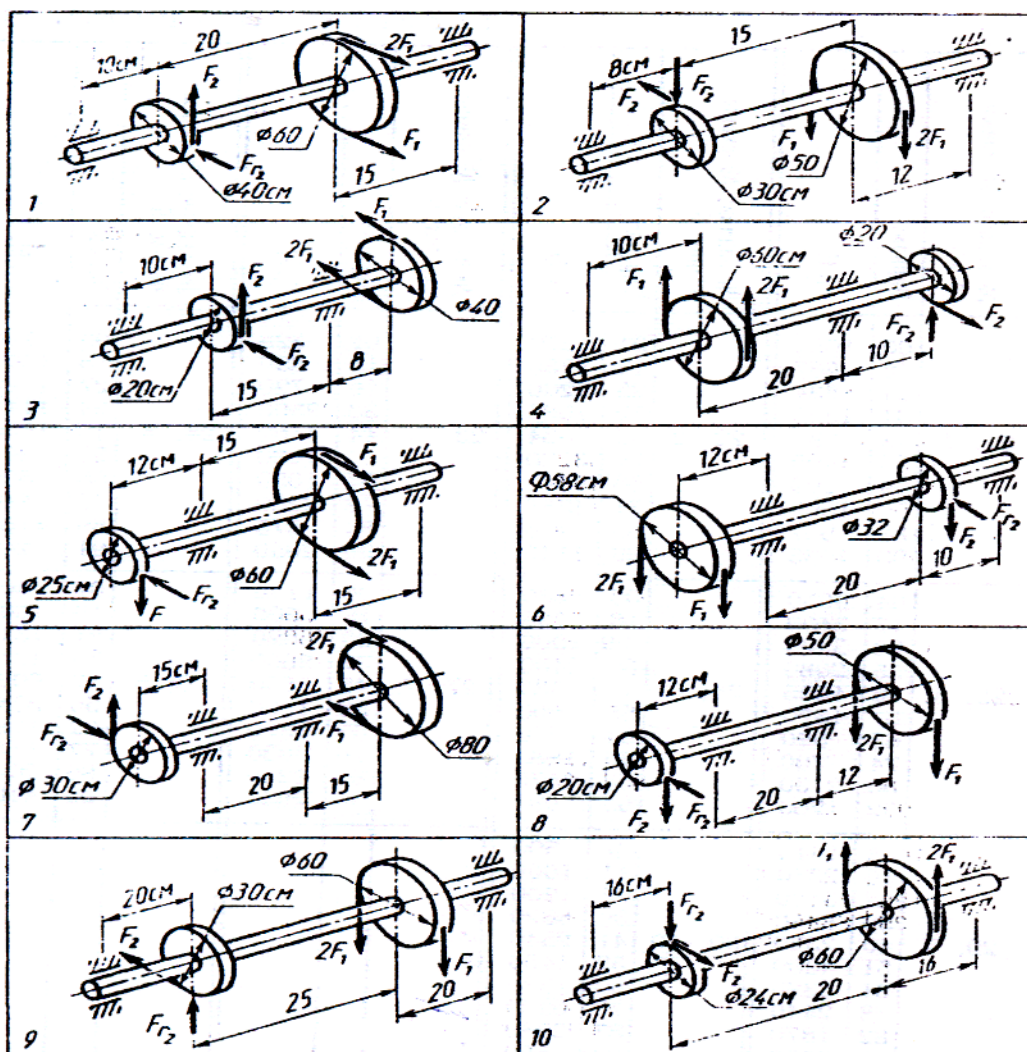


Рисунок 4 - Схемы нагружения к практической работе №4

2. Выполнить схему нагружения.
3. Выбрать положение прямоугольных систем координат: XZY , $X'ZY'$.
4. Связи заменить их реакциями.
5. Спроектировать схему в плоскость перпендикулярную оси Z .
6. Составить уравнение равновесия: $\sum M_{iz} = 0$ и определить силы F_2 , F_{r2} .
7. Спроектировать схему в плоскость перпендикулярную оси X .
8. Составить уравнение равновесия для системы сил в вертикальной плоскости и определить реакции связей.
9. Выполнить проверку правильности определения реакций в вертикальной плоскости, доказав, что $\sum F_{iy} = 0$.
10. Спроектировать схему в плоскость перпендикулярную оси Y .

11. Составить уравнение равновесия для системы сил в горизонтальной плоскости и определить реакции связей .
12. Выполнить проверку правильности определения реакций в горизонтальной плоскости, доказав, что $\sum F_{ix}=0$.
13. Сформулировать вывод по работе.
14. Ответить на контрольные вопросы:
 - 1). Как определить главный вектор пространственной произвольной системы сил.
 - 2). Как определить главный момент пространственной произвольной системы сил.
 - 3). Укажите возможные виды движения, если:
 - а) $M_{ГЛ} = 0$; $F_{ГЛ} \neq 0$;
 - б) $M_{ГЛ} \neq 0$; $F_{ГЛ} = 0$;
 - в) $M_{ГЛ} \neq 0$; $F_{ГЛ} \neq 0$.
 - 4). Запишите условия равновесия для пространственной произвольной системы сил.

Структура отчета по практической работе.

1. Номер и название практической работы.
2. Цель
3. Задание к практической работе.
4. Схема нагружения с указанием реакций связей и систем координат XZY .
5. Разложение схемы нагружения по плоскостям.
6. Определение реакций связей в вертикальной плоскости.
7. Проверка правильности определения реакций связей в вертикальной плоскости.
8. Определение реакций связей в горизонтальной плоскости.
9. Проверка правильности определения реакций связей в горизонтальной плоскости.
10. Ответ.
11. Вывод по работе

12. Ответы на контрольные вопросы.

Практическая работа №4.

Название практической работы: Определение центра тяжести составного сечения.

Цель: Освоение методики аналитического определения положения центра тяжести составных плоских фигур.

Умения (элементы): - применять при анализе механического состояния понятия и терминологию теоретической механики;

Знания (актуализация): - основных понятий теоретической механики;
- методику выполнения основных расчетов по теоретической механике;

Теоретический материал.

Центр тяжести - это материальная точка тела, к которой приложены силы тяжести тела. Он может лежать в точке, где нет материальных частиц, принадлежащих данному телу.

При определении положения центра тяжести аналитическим методом исходят из того, что любую составную плоскую фигуру можно разбить на простейшие геометрические фигуры положение центра тяжести которых можно определить следующим образом:

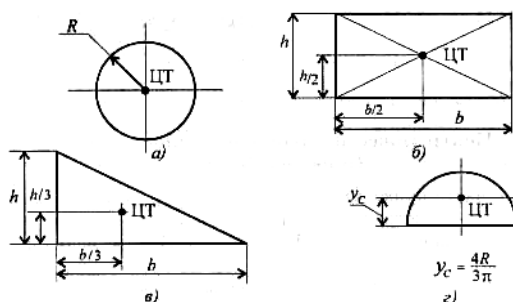


Рисунок 1 - Положение центра тяжести геометрических фигур

При решении задач используются следующие положения:

- центр тяжести симметричных фигур находится на оси симметрии;

- сложные сечения разделяются на простейшие геометрические фигуры, положение центра тяжести которых известны;

-пустотные фигуры рассматриваются как часть сечения с отрицательной площадью.

Задание к практической работе: Определить координаты центра тяжести плоской фигуры (рисунок 2).

Ход выполнения работы.

1.Определить исходные данные для работы, в соответствие со своим вариантом (таблица 1).

Таблица 1 - Исходные данные к практической работе №5

вариант	схема	параметры				
		B,мм	b,мм	H,мм	h,мм	R, мм
1	а	70	40	80	-	20
2	б	80	50	90	-	25
3	в	90	60	100	-	30
4	г	100	70	110	-	35
5	д	110	90	120	50	40
6	е	120	90	130	100	45
7	а	130	100	140	-	50
8	б	140	110	150	-	60
9	в	150	100	160	-	50
10	г	160	110	170	-	40
11	д	170	110	180	120	35
12	е	180	120	190	130	30
13	а	190	100	200	-	25
14	б	200	140	190	-	20
15	в	210	150	180	-	25
16	г	220	160	170	-	30
17	д	230	170	160	110	35
18	е	240	180	150	90	40
19	а	250	190	140	-	35
20	б	260	200	130	-	30
21	в	100	70	120	-	25
22	г	120	90	110	-	20
23	д	130	70	100	60	30
24	е	140	80	90	60	35
25	а	230	170	80	-	40
26	б	250	190	70	-	50

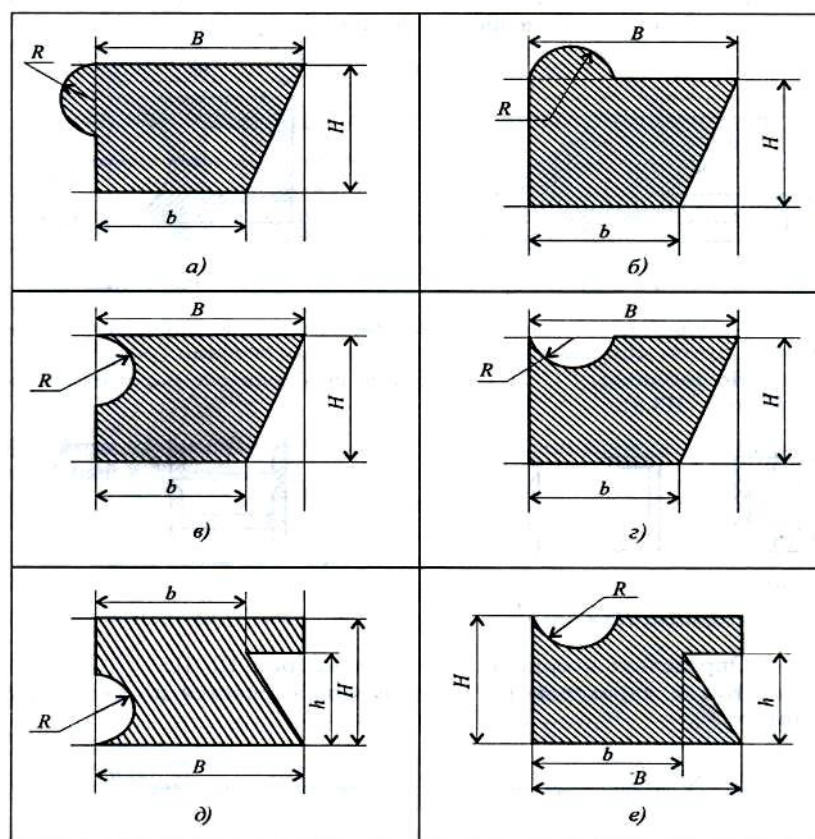


Рисунок 2 - Эскизы плоских фигур

2. Вычертить эскиз фигуры в соответствии с заданием.
3. Разбить фигуру на простейшие геометрические; показать положение центра тяжести каждой фигуры.
4. Определить площади простейших фигур.
5. Определить координаты центров тяжести полученных фигур относительно выбранной системы координат XOY .
6. Определить координату x_c центра тяжести всей фигуры:

$$x_c = \sum A_i x_i / \sum A_i$$
7. Определить координату y_c центра тяжести всей фигуры:

$$y_c = \sum A_i y_i / \sum A_i$$
8. Указать положение центра тяжести всей фигуры на эскизе.
9. Сформулировать вывод по работе.
10. Ответить на контрольные вопросы:
 - 1) Сформулировать понятие «центр тяжести плоской фигуры».

2). Указать положение центра тяжести простейших геометрических фигур:

-прямоугольника;

-круга;

-полукруга;

-прямоугольного треугольника.

3). Как изменятся координаты центра тяжести плоской фигуры x_c , y_c если увеличить высоту фигуры при заданном положении системы координат?

Структура отчёта по практической работе

1. Номер и название практической работы.

2. Цель.

3. Задание к практической работе.

4. Эскиз фигуры с указанием размеров в соответствии с вариантом.

5. Разбивка составной фигуры на простейшие:

6. Определение площадей простейших фигур:

7. Определение координат центра тяжести простейших фигур относительно выбранной системы координат:

8. Определение координаты X_c центра тяжести всей фигуры

9. Определение координаты Y_c центра тяжести всей фигуры

10. Вывод по работе.

11. Ответы на контрольные вопросы.

Практическая работа №5.

Название практической работы: Определение параметров движения точки.

Цель: формирование умений определения кинематических параметров точек вращающегося и поступательно движущегося твердого тела.

Умения: (элементы) –выполнять кинематический анализ механизма

Знания: (актуализация)-основных понятий теоретической механики,,
законов перемещения тел

-определение скоростей и ускорений звеньев.

Теоретический материал.

К простейшим движениям твердого тела относятся поступательное и вращательное движение вокруг неподвижной оси. При поступательном движении твердого тела все его точки имеют равные кинематические параметры.

Поступательное движение может описываться законом $S = f(t)$. Мгновенная скорость поступательного движения $V = S'(t)$; ускорение $a = V'(t)$.

При *вращательном* движении вокруг неподвижной оси все точки твердого тела движутся по окружностям с радиусом, равным расстоянию от точки до оси вращения, в плоскостях, перпендикулярных оси вращения.

Вращательное движение описывается законом $\varphi = f(t)$ и характеризуется следующими параметрами:

- φ - *угловое перемещение* - угол, на который поворачивается твердое тело вокруг неподвижной оси; φ , радиан, градус, оборот;

- ω - *угловая скорость* характеризует быстроту и направления вращательного движения твердого тела; ω , с^{-1} ; в случае задания движения функцией

$\varphi = f(t)$, угловая скорость определяется первой производной от угла поворота по времени, т.е. $\omega = \varphi'(t)$;

- n - *частота вращения* - скоростная характеристика; n , мин^{-1} ,

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}$$

- ε - *угловое ускорение* характеризует быстроту изменения угловой скорости в единицу времени; ε , с^{-2} ; в случае задания движения функцией $\varphi = f(t)$, то угловое ускорение определяется как вторая производная от углового перемещения по времени или как первая производная от угловой скорости по времени, т.е.: $\varepsilon = \varphi''(t)$ или $\varepsilon = \omega'(t)$; угловое ускорение имеет

направление угловой скорости в случае ускоренного движения и противоположно угловой скорости в случае замедленного вращения.

Все точки вращающегося твердого тела характеризуются следующими кинематическими параметрами:

-*линейной скоростью* V , направленной по касательной к окружности:

$$V = \omega \cdot R, \text{ м/с}$$

-*касательным ускорением* a_τ , характеризующим изменение величины вектора скорости в единицу времени и направленным по касательной к траектории:

$$a_\tau = \varepsilon \cdot R, \text{ м/с}^2$$

- *нормальным ускорением* a_n , характеризующим изменение направления вектора скорости в единицу времени и направленным по радиусу к центру кривизны траектории:

$$a_n = \frac{V^2}{R}, \text{ м/с}^2;$$

-*полным ускорением* a , определяемым векторной суммой касательного и нормального ускорений:

$$a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2} = R \cdot \sqrt{(\varepsilon^2 + \omega^4)}$$

Задание к практической работе:

Задание №1. При запуске двигателя его шкив, диаметром d , в течение первых нескольких секунд вращается согласно уравнению $\varphi = f(t)$.

Определить скорости и ускорения точек, расположенных на ободе шкива, в момент времени t . Изобразить на схеме кинематические параметры вращательного движения шкива и точек, расположенных на его ободе.

Задание 2. Движение груза A задано уравнением

$$S = at^2 + bt + c, \text{ где } [S] = \text{м}, [t] = \text{с}.$$

Определить скорость и ускорение груза в момент времени t , а также скорость и ускорение точки B на ободе барабана лебедки (рисунок 1).

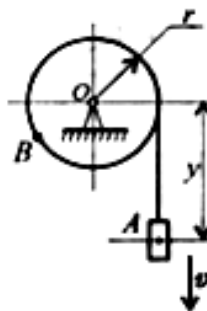


Рисунок 1 - Схема к заданию 2

Ход выполнения работы.

1.Задание 1.

2.Определить исходные данные для задания 1, в соответствие со своим вариантом (таблица 1).

Таблица 1 - Исходные данные к заданию №1.

№ варианта	d,мм	$\varphi = f(t)$	t,с	№ варианта	d,мм	$\varphi = f(t)$	t,с
1	200	$0.2t^3$	3	13	120	$0.4t^3$	5
2	140	$0.6t^3$	4	14	130	$0.8t^3$	6
3	150	$0.9t^3$	5	15	140	$0.5t^3$	4
4	160	$0.2t^3+3$	6	16	150	$0.2t^3+8$	3
5	170	$0.4t^3$	7	17	160	$1.2t^3$	7
6	180	$0.2t^3+4t$	8	18	170	$0.3t^3+2t$	8
7	190	$2.2t^3$	9	19	180	$3.2t^3$	9
8	200	$0.5t^3+3t$	2	20	190	$4.2t^3-6$	10
9	230	$0.2t^3-2$	10	21	200	$0.2t^3+2t$	4
10	220	$4.2t^3$	5	22	150	$0.6t^3-5$	6
11	210	$2t^3+4$	7	23	160	$2t^3$	3
12	160	$0.7t^3$	6	24	140	$5.2t^3$	7

1.1.Определить угловую скорость.

1. 2. Определить угловое ускорение.

1.3.Определить линейную скорость точек, расположенных на ободе шкива.

1.4. Определить величину касательного ускорения.

1.5. Определить величину нормального ускорения.

1.6. Определить величину полного ускорения.

1.7.Вычертить схему изображения кинематических параметров движения твердого тела и его точек.

2.Задание 2.

2.1.Определить исходные данные для задания 2, в соответствие со своим вариантом (таблица 2).

Таблица 2 - Исходные данные к заданию2.

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
a, м/с ²	2	0	3	0	3	3	2	0	4	2	1	0	2
v, м/с	0	3	4	2	0	4	0	3	4	2	1	2	3
c, м	3	4	5	6	7	8	9	4	5	2	3	1	0
r, м	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,7	0,8	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5
t, с	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1

Таблица 2 (продолжение) - Исходные данные к заданию 2.

№ вар.	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
a, м/с ²	3	4	0	2	1	4	5	6	0	5	4	0	3
v, м/с	0	2	4	5	0	1	2	3	5	2	3	1	5
c, м	2	3	4	5	6	7	8	9	0	9	8	7	6
r, м	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,3
t, с	2	3	2	3	2	3	2	32	3	2	3	2	3

2.2.Вычертить заданную схему

2.3.Определить скорость движения груза для момента времени t.

2.4. Определить ускорение движения груза для момента времени t.

3.Сформулировать вывод по работе

4.Ответить на контрольные вопросы.:

1).Назовите кинематический параметр, характеризующий быстроту и направление поступательного движения?

2).Какой параметр характеризует изменение величины вектора скорости точки в единицу времени?

3). .Назовите кинематический параметр, характеризующий быстроту изменения угловой скорости в единицу времени.

4). При каком движении угловое ускорение противоположно угловой скорости?

5). Какими кинематическими параметрами характеризуется поступательное движение?

Структура отчета по практической работе.

1. Номер и название практической работы

2. Цель:

3. Задание 1:

3.1. Исходные данные.

3.2. Определение угловой скорости.

3.3. Определение углового ускорения.

3.4. Определение касательного ускорения.

3.5. Определение нормального ускорения

3.6. Определение полного ускорения.

3.7. Схема кинематических параметров.

3.8. Ответ.

4. Задание 2.

4.1. Исходные данные.

4.2. Определение скорости движения груза для момента времени t .

4.3. Определение ускорения движения груза для момента времени t .

4.4. Ответ.

5. Вывод по работе.

6. Ответы на контрольные вопросы.

Практическая работа №6

Название практической работы: Расчеты элементов конструкций на прочность и жесткость при растяжении, сжатии.

Цель: Освоение методики расчета элементов конструкции на прочность и жесткость при растяжении, сжатии.

Умения:- определять характер нагружения и напряженное состояние в точке элемента конструкции;

-проводить несложные расчеты элементов конструкции на прочность и жесткость;

- использовать справочную и нормативную документацию;

Знания:(актуализация) - методики выполнения основных расчетов по сопротивлению материалов;

-методика выполнения расчетов на прочность и жесткость при растяжении, сжатии .

Теоретический материал

Сущность *проверочных* расчетов на прочность элементов конструкций заключается в определении величины максимальных напряжений в наиболее опасном сечении и в сравнении их с величиной допускаемых напряжений в соответствии с условием прочности.

Условие прочности при растяжении (сжатии): $\sigma_{\max} = \frac{N}{A} \leq [\sigma],$

где σ_{\max} — максимальные расчетные напряжения, МПа;

N- продольная сила, зависящая от внешних нагрузок, Н;

A – площадь поперечного сечения, мм²,

$[\sigma]$ – допускаемое нормальное напряжение, МПа $[\sigma] = \frac{\sigma_{пред.}}{[S]},$

где $\sigma_{пред}$ —предельное напряжение;

для пластичных материалов $\sigma_{пред} = \sigma_T;$

для хрупких материалов $\sigma_{пред} = \sigma_{пч};$

[S]- требуемый коэффициент запаса прочности

Для определения положения наиболее опасного сечения в случае, когда к элементу конструкции приложены нескольких сил или имеет место разные по размеру поперечные сечения, строятся эпюры продольных сил (ЭN) и эпюры нормальных напряжений (Эσ).

Эпюра продольных сил (ЭN) – график распределения продольных сил вдоль длины бруса.

Правила построения эпюры продольных сил ЭN:

- 1.Проводится базовая (нулевая) линия эпюры параллельно продольной оси бруса.
- 2.Базовая линия эпюры разбивается на участки. Границами участков являются точки приложения внешних нагрузок. Участки нумеруются *от свободного конца*.
- 3.Определяется величина продольной силы на каждом участке с использованием метода сечений по формуле . $N = \sum F_{\text{изост.ч.}}$, *Правило знаков для N:* при растяжении продольная сила положительная, при сжатии – отрицательная.
- 4.Перпендикулярно базовой линии откладываются полученные значения продольных сил в произвольном масштабе. Через концы ординат проводятся прямые линии, проставляются знаки и выполняется штриховка перпендикулярно базовой линии.

Интенсивность распределения продольной силы по поперечному сечению характеризуют *нормальные напряжения*: $\sigma = \frac{N}{A}$ (A – площадь поперечного сечения).

Эпюра нормальных напряжений - график распределения нормальных напряжений по длине бруса.

Правила построения эпюры нормальных напряжений Эσ:

- 1.Проводится базовая (нулевая) линия эпюры параллельно продольной оси бруса.
- 2.Границы участков эпюры определяются точками приложения внешних сил и точками изменения поперечного сечения.

3. Определяются значения напряжений на каждом из полученных участков по формуле $\sigma = \frac{N}{A}$ (A – площадь поперечного сечения). Знак σ соответствует знаку N .

4. Перпендикулярно базовой линии откладываются полученные значения продольных сил в произвольном масштабе. Через концы ординат проводятся прямые линии, проставляются знаки и выполняется штриховка перпендикулярно базовой линии.

Наиболее опасным является участок с максимальным по абсолютной величине нормальным напряжением.

На основании условия прочности могут быть выполнены проектный и проверочный виды расчетов. Сущность *проектного* расчета заключается в определении размеров поперечного сечения: $A \geq \frac{N}{[\sigma]}$

Сущность *проверочного расчета элементов конструкций на жесткость* заключается в сравнении максимальных деформаций с допускаемыми деформациями. При растяжении, сжатии условие жесткости выглядит следующим образом: абсолютное удлинение бруса

$$\Delta \ell_{\max} \leq [\Delta \ell].$$

Абсолютное удлинение определяется на каждом участке по формуле ;

$$\Delta \ell_i = \frac{\sigma_i \cdot \ell_i}{E}, \text{ где } E - \text{модуль продольной упругости, характеризующий}$$

жесткость материала при растяжении, сжатии, для стали $E = 2 \cdot 10^5 \text{ н/мм}^2$.

Расчет необходимо начинать от жесткой заделки, последовательно прибавляя алгебраически к результатам удлинения предыдущего участка результаты рассматриваемого участка.

Примеры выполнения.

Пример 1.

Проверить прочность и жесткость элемента конструкции (рисунок.1), если $\sigma_T = 180 \text{ МПа}$, $[S] = 3$, $[\Delta \ell] = 0,14 \text{ мм}$; $b = 10 \text{ мм}$, $h = 20 \text{ мм}$.

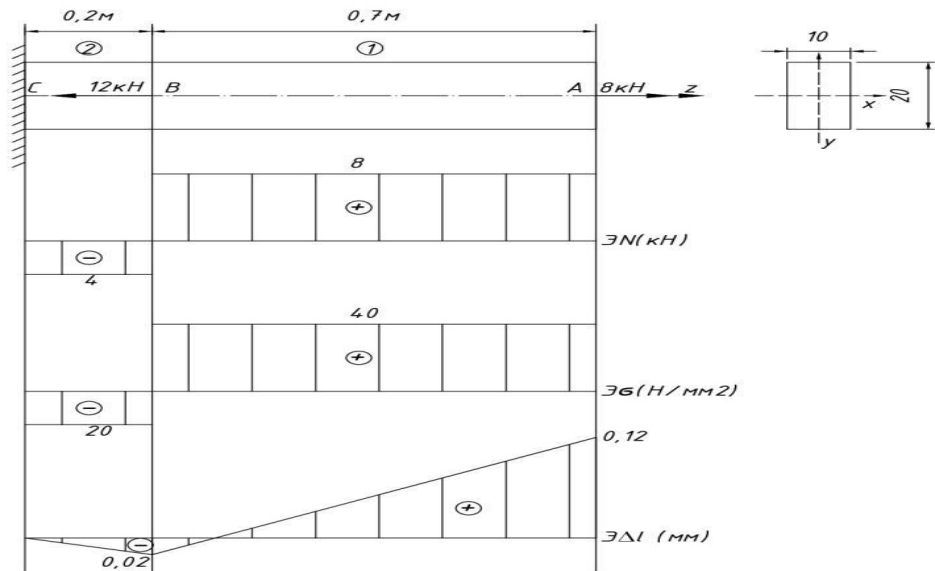


Рисунок 1 – Схема нагружения к примеру 1.

Решение:

1.1. Определение положения наиболее опасного участка

1.1.1. Построение эпюры продольных сил:

$$N = \sum F_{i \text{ ост. ч.}} \quad N_1 = 8 \text{ кН}; \quad N_2 = -4 \text{ кН}$$

1.1.2. Построение эпюры нормальных напряжений.

$$\sigma = \frac{N}{A}, \text{ МПа}$$

$$\sigma_1 = \frac{8 \cdot 10^3}{10 \cdot 20} = 40; \quad \sigma_2 = -\frac{4 \cdot 10^3}{10 \cdot 20} = -20$$

1.1.3. Наиболее опасный участок 1

1.2. Определение величины допускаемого напряжения

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{пред}}{[S]} = \frac{180}{3} = 60 \text{ МПа}$$

1.3. Оценка прочности элемента конструкции: прочность обеспечена, т.к.

$$\sigma_{\max} = 40 \text{ МПа} < [\sigma] = 60 \text{ МПа}$$

1.4. Проверка жесткости

1.4.1. Определение абсолютного удлинения отдельных участков и построение эпюры абсолютных удлинений: Δl

$$\Delta l_C = 0; \quad \Delta l_B = \frac{\sigma_2 \cdot \ell_2}{E} = \frac{-20 \cdot 0,2 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^5} = -0,02 \text{ мм}; \quad \Delta l_A =$$

$$\Delta l_B + \frac{40 \cdot 0,7 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^5} = -0,02 + 0,14 = 0,12 \text{ мм}$$

1.4.2. максимальное абсолютное удлинение бруса $\Delta l_{\max} = 0,12 \text{ мм}$

1.4.3. Оценка жесткости $\Delta l_{\max} = 0,12 \text{ мм} < [\Delta l] = 0,14 \text{ мм}$, жесткость обеспечена.

1.5. Ответ: прочность и жесткость элемента конструкции обеспечены

Пример 2.

Для заданной системы двух стержней одинакового поперечного сечения, составленного из двух равнобоких уголков, нагруженного силой $F = 170 \text{ кН}$ (рисунок 2), подобрать по ГОСТ 8509-86 соответствующий номер уголка, определить процент недогрузки или перегрузки наиболее нагруженного стержня при принятых стандартных размерах сечения, приняв $[\sigma] = 140 \text{ МПа}$.

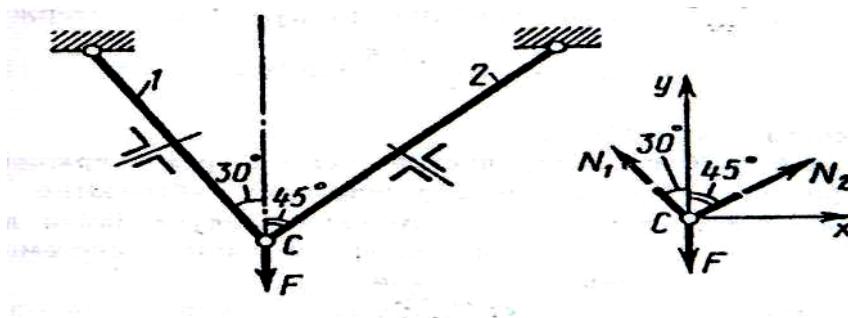


Рисунок 2. Расчетная схема к примеру 2.

Решение:

2.1. В шарнире С приложена уравновешенная система сходящихся сил, для которой составляем уравнения равновесия для определения реакций стержней N_1, N_2 :

$$\sum Y = N_1 \cdot \cos 30^\circ + N_2 \cdot \cos 45^\circ - F = 0; \quad (1)$$

$$\sum X = -N_1 \cdot \cos 60^\circ + N_2 \cdot \cos 45^\circ = 0; \quad (2)$$

$$\text{Из (2) } N_1 = \frac{N_2 \cdot \cos 45^\circ}{\cos 60^\circ} = \frac{N_2 \cdot 0,707}{0,5} = 1,41 N_2 \quad (3)$$

Выражение (3) подставим в выражение (1):

$$1,41 N_2 \cdot \cos 30^\circ + N_2 \cdot \cos 45^\circ - F = 0 \quad (4)$$

Решая уравнения (3), (4) определим величину N_2 и N_1

$$N_2 = \frac{F}{1,41 \cdot \cos 30^\circ + \cos 45^\circ} = \frac{170}{1,41 \cdot 0,866 + 0,707} = 88,3 \text{ кН};$$

$$N_1 = 1,41 N_2 = 1,41 \cdot 88,3 = 124,5 \text{ кН}$$

Наиболее нагруженным является стержень 1

2.3. Выполняем проектный расчет:

$$A \geq \frac{N_1}{[\sigma]} = \frac{124,5 \cdot 10^3}{140} = 889 (\text{мм}^2) = 8,89 \text{ см}^2$$

Необходимая площадь поперечного сечения одного уголка

$$A_1 = \frac{A}{2} = \frac{8,89}{2} = 4,445 \text{ см}^2$$

По ГОСТ 8509-86 назначаем уголок № 6,3 площадью $A = 4,96 \text{ см}^2$, таким образом требуемая площадь наиболее нагруженного стержня:

$$[A] = 2A_1 = 2 \cdot 4,96 = 9,92 \text{ см}^2$$

Рабочее напряжение в поперечном сечении наиболее нагруженного стержня:

$$\sigma = \frac{N_1}{[A]} = \frac{124,5 \cdot 10^3}{9,92 \cdot 10^2} = 125,5 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2} = 125,5 \text{ МПа} < [\sigma] = 140 \text{ МПа}$$

Прочность наиболее нагруженного стержня обеспечена

$$\text{Недогрузка составляет: } \Delta = \frac{[\sigma] - \sigma}{[\sigma]} \cdot 100\% = \frac{140 - 125,5}{140} \cdot 100\% = 10,3\% < [12\%]$$

Ответ: равнополочный уголок № 6,3, недогрузка составляет 10,3%

Задания к практической работе №8:

Задание №1. Для заданной схемы нагружения проверить прочность и жесткость элемента конструкции (рисунок 3, таблица 1). В случае невыполнения условия прочности и жесткости предложить возможные варианты обеспечения прочности и жесткости.

Задание №2.

Для заданной системы двух стержней (рисунок 4) одинакового поперечного сечения, составленного из двух равнобоких уголков, нагруженного силой F , подобрать по ГОСТ 8509-86 (таблица 3) соответствующий номер уголка, определить процент недогрузки или перегрузки наиболее нагруженного

стержня при принятых стандартных размерах сечения, приняв $[\sigma] = 140$ МПа.

Исходные данные принять в соответствии с вариантом(таблица 2).

Ход выполнения работы

1.Задание № 1.

1.1.Записать условие задачи и исходные данные в соответствии с вариантом (таблица1)

Таблица 1 -.Исходные данные к заданию №1

№п\п	F ₁ , кН	F ₂ , кН	F ₃ , кН	ℓ_1 , м	ℓ_2 , м	a	$[\Delta \ell]$ мм	σ_t , МПа	[S]	Поперечное сечение	Размеры поперечного сечения, мм
1	30	10	5	0,2	0,3	0,4	0,25	240	4	круговое кольцо	d=56 d ₀ =48
2	16	15	10	0,3	0,4	0,2					d=58 d ₀ =52
3	8	13	17	0,5	0,4	0,5					d=70 d ₀ =62
4	14	16	11	0,3	0,6	0,2					d=48 d ₀ =40
5	27	14	8	0,6	0,5	0,3					d=50 d ₀ =44
6	24	11	6	0,5	0,6	0,2	0,15	220	2	круг	40
7	18	12	5	0,6	0,4	0,2					45
8	7	13	26	0,6	0,3	0,5					50
9	12	20	36	0,5	0,3	0,7					54
10	9	33	16	0,6	0,4	0,3					55
11	16	25	28	0,5	0,5	0,5	0,2	190	3	квадрат	a= 40
12	8	13	14	0,4	0,4	0,4					a= 45
13	15	24	29	0,5	0,3	0,2					a= 48
14	14	16	9	0,8	0,3	0,3					a= 50
15	18	27	31	0,2	0,3	0,4					a= 54
16	20	29	33	0,3	0,5	0,3	0,35	200	2	прямоуголь ник	b=20 h=40
17	20	29	31	0,4	0,4	0,4					b=30 h=40
18	10	15	18	0,5	0,5	0,5					b=40 h=60
19	12	16	19	0,5	0,3	0,2					b=20 h=60
20	17	26	30	0,2	0,5	0,5					b=35 h=80
21	16	20	11	0,3	0,6	0,3	0,45	240	3	круг	45

22	14	16	10	0.4	0,6	0.2					35
23	17	19	13	0.5	0,5	0,6					45
24	20	18	12	0.6	0,4	0.3					50
25	13	17	9	0.5	1,0	0.8					55
26	18	20	14	0,6	1,0	0.5					d=68 d ₀ =58
27	22	19	13	1,0	1,2	1.0		300	5	круговое кольцо	d=60 d ₀ =52

1.2. Выполнить схему нагружения (рисунок 3).

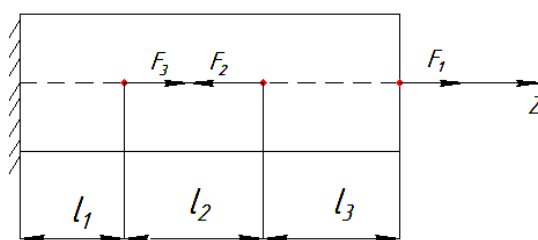


Рисунок 3 - Схема нагружения к заданию №1

1.3. Определить величину продольной силы на каждом участке и построить эпюру продольных сил.

1.4. Определить величину нормальных напряжений на каждом участке и построить эпюру нормальных напряжений.

1.5. Определить положение наиболее опасного участка.

1.6. Записать условие прочности при растяжении, сжатии и проверить его выполнение.

1.7. Выполнить анализ полученного результата.

1.8. Определить абсолютное удлинение отдельных участков и построение эпюры абсолютных удлинений.

1.9. Оценка жесткости бруса.

2. Задание № 2.

2.1. Записать условие задачи и исходные данные в соответствии с вариантом (таблица 2).

Таблица 2 - Исходные данные к заданию №2

№вар	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
№ схемы	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3
F,кН	75	200	150	90	100	85	32	45	67	80	76	65	50	70	80

Таблица 2 (продолжение) - Исходные данные к заданию №2

№вар	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
№схемы	4	4	4	4	4	5	5	5	5	5	3	2	1	4	5
F,кН	38	25	45	58	60	45	35	46	18	50	80	45	65	90	100

2.2. Выполнить схему нагружения в соответствии с вариантом (таблица 2, рисунок 4).

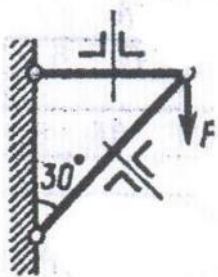


Схема 1.

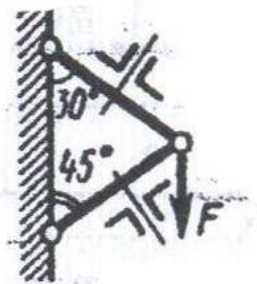


Схема 2.

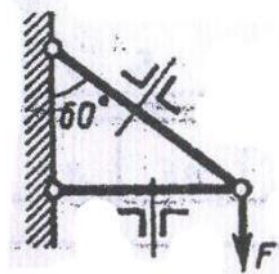


Схема 3.

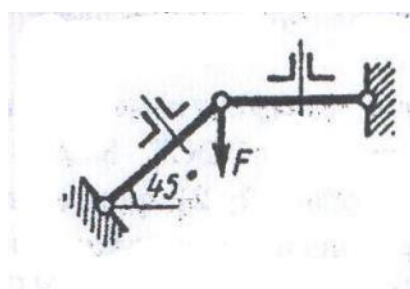


Схема 4.

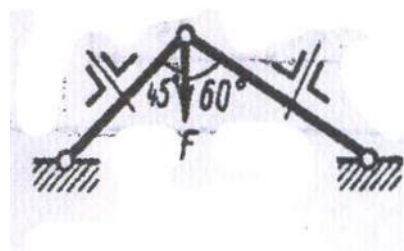


Схема 5.

Рисунок 4 - Схемы нагружения стержней к заданию №2.

2.3. Выполнить расчетную схему.

2.4. Составить уравнения равновесия:

$$\Sigma X = 0; \quad \Sigma Y = 0;$$

2.5. Определить величину продольных сил в стержнях.

2.6. Определить из условия прочности требуемую площадь поперечного сечения наиболее нагруженного стержня.

2.7. Принять по ГОСТ 8509-86 требуемый № профиля (таблица 3)

Таблица 3 - Сталь прокатная угловая равнополочная (по ГОСТ 8509-86)

Номер уголка	Размеры, мм		A, см ²	Справочные величины для осей								
	b	d		x - x			x ₀ - x ₀		y ₀ - y ₀			z ₀ , см ²
				J _x , см ⁴	W _x , см ³	i _x , см	J _{x0 max} , см ⁴	i _{x0 max} , см ⁴	J _{y0 min} , см ⁴	W _{y0 min} , см ³	i _{y0 min} , см	
2	20	3	1,13	0,40	0,28	0,59	0,63	0,75	0,17	0,20	0,39	0,60
		4	1,46	0,50	0,37	0,58	0,78	0,73	0,22	0,24	0,38	0,64
2,5	25	3	1,43	0,81	0,46	0,75	1,29	0,95	0,34	0,33	0,49	0,73
		4	1,86	1,03	0,59	0,74	1,62	0,93	0,44	0,41	0,48	0,76
2,8	28	3	1,62	1,16	0,58	0,85	1,84	1,07	0,48	0,42	0,55	0,80
3,0	30	3	1,74	1,45	0,67	0,91	2,30	1,15	0,60	0,53	0,59	0,85
		4	2,27	1,84	0,37	0,80	2,92	1,13	0,77	0,61	0,58	0,89
3,2	32	3	1,86	1,77	0,77	0,97	280	1,23	0,74	0,59	0,63	0,89
		4	2,43	2,26	1,00	0,96	3,58	1,21	0,94	0,71	0,62	0,94
3,5	35	3	2,04	2,35	0,93	1,07	3,72	1,35	0,97	0,71	0,69	0,97
		4	2,17	3,01	1,21	1,06	4,76	1,33	1,25	0,88	0,68	1,01
3,5	35	5	3,28	3,61	1,47	1,05	5,71	1,32	1,52	1,02	0,68	1,05
4,0	40	3	2,35	3,55	1,22	1,23	5,63	1,55	1,47	0,95	0,79	1,09
		4	3,08	4,58	1,60	1,22	7,26	1,53	1,90	1,19	0,78	1,13
		5	3,79	5,53	1,95	1,21	8,75	1,52	2,30	1,39	0,78	1,17
4,5	45	3	2,65	5,13	1,56	1,39	8,13	1,75	2,12	1,24	0,89	1,21
		4	3,48	6,63	2,04	1,38	10,52	1,74	2,74	1,54	0,89	1,26
		5	4,29	8,03	2,51	1,37	12,74	1,72	3,33	1,81	0,88	1,30
5,0	50	3	2,96	7,11	1,94	1,55	11,27	1,95	2,95	1,57	1,00	1,33
		4	3,89	9,21	2,54	1,54	14,63	1,94	3,80	1,95	0,99	1,38
		5	4,80	11,20	3,13	1,53	17,77	1,92	4,63	2,30	0,98	1,42
		6	5,69	13,07	3,69	1,52	20,72	1,91	5,43	2,63	0,98	1,46
5,6	56	4	4,38	13,10	3,21	1,73	20,79	2,18	5,41	2,52	1,11	1,52

2.8. Определить процент перегрузки или недогрузки наиболее нагруженного стержня.

3. Сформулировать вывод по работе.

4. Ответить на контрольные вопросы:

1). Запишите формулы для определения продольной силы и нормальных напряжений при растяжении, сжатии.

2). Запишите условия прочности и жесткости при растяжении, сжатии.

3).Сформулируйте сущность проверочного и проектного расчетов на прочность и жесткость при растяжении, сжатии.

4).Укажите цель построения эпюр продольных сил и нормальных напряжений.

5).Сформулируйте основные правила построения и контроля эпюры продольных сил.

Структура отчета по практической работе

1.Номер и название работы

2.Цель:

3.Задание № 1

3.1.Условие задачи и исходные данные.

3.2. Схема нагружения.

3.3. Определение величины продольной силы на каждом участке и построение эпюры продольных сил.

3.4. Определение величины нормальных напряжений на каждом участке и построение эпюры нормальных напряжений.

3.5. Определение положения наиболее опасного участка.

3.6.Запись условия прочности при растяжении, сжатии и проверка его выполнения.

3.7.Проведение анализа полученного результата.

3.8. Определение абсолютного удлинения отдельных участков .

3.9. Определение абсолютного удлинения бруса.

3.10 Оценка жесткости бруса

4.Задание №2.

4.1.Условие задачи и исходные данные.

4.2. Выполнение схемы нагружения.

4.3. Выполнение расчетной схемы.

4.4.Составление уравнений равновесия:

4.5.Определение величины продольных сил в стержнях.

4.6. Определение из условия прочности требуемой площади поперечного сечения наиболее нагруженного стержня.

4.7. Выбор по ГОСТ 8509-86 требуемого № профиля.

5. Вывод по работе.

6. Ответы на контрольные вопросы.

Практическая работа № 7.

Название практической работы: Выполнение расчетов шпоночных соединений на срез и смятие.

Цель: Освоение методики расчета на прочность элементов конструкции, работающих на срез и смятие.

Умения:- проводить несложные расчеты элементов конструкции на прочность;

- использовать справочную и нормативную документацию;

Знания (актуализация): методики выполнения основных расчетов по сопротивлению материалов;

- методики расчетов на прочность при срезе и смятии.

Теоретический материал.

Шпоночные соединения служат для окружной фиксации деталей на валах и осях и передачи вращающего момента. В основном применяют ненапряженные соединения призматическими шпонками. Шпонки выполняют со скругленными и плоскими концами. Шпонки закладывают в паз вала. Разрушение соединительных деталей (болтов, заклепок, штифтов, шпонок), сварных, клеевых соединений, нагруженных силами, перпендикулярными их собственным осям, называется *срезом*. Давление, возникающее между соединительными деталями и стенками отверстия, называется напряжением *смятия* $\sigma_{см}$.

Критерием работоспособности соединения призматическими шпонками являются прочность шпонки на *срез* и *прочность соединения на смятие*.

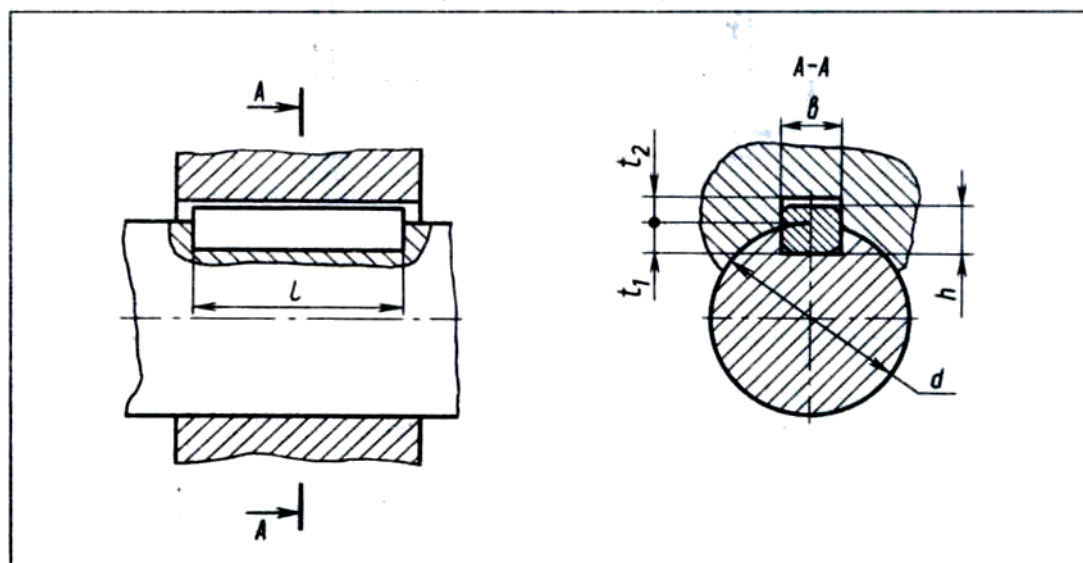
Размеры поперечного сечения шпонки b , h и глубина паза на валу t_1 подбирают по каталогу (таблица 1) по диаметру вала, необходимая длина шпонки l определяется по длине ступицы $l = l_{cm} - (5...10)$ мм и уточняется по каталогу (таблица 1), длина ступицы $L_{ст} = 1,5d$. Выбранная шпонка проверяется на прочность на срез и соединение на смятие.

Условие прочности шпоночного соединения на смятие

$$\sigma_{см} = \frac{2M}{d(h-t_1)l_p} \leq [\sigma_{см}]$$

Где M — вращающий момент; h — высота шпонки; l_p — расчетная длина; для шпонок с плоскими концами $l_p = l$; для шпонок с закругленными концами $l_p = l - b$; b — ширина шпонки; t_1 — глубина паза на валу. Допускаемое напряжение смятия при стальной ступице $[\sigma_{см}] = 130...200$ МПа, при чугунной ступице $[\sigma_{см}] = 80 - 110$ МПа.

Таблица 1 - Шпоночные соединения с призматической шпонкой
ГОСТ23360-78



Диаметр вала d	Сечение шпонки		Фаска	Глубина паза		Длина l
	b	h		вала t_1	ступи-цы t_2	
Свыше 12 до 17 » 17 » 22	5 6	5 6	0,25...0,4	3 3,5	2,3 2,8	10...56 14...70
» 22 » 30	8	7	0,4...0,6	4	3,3	18...90
» 30 » 38 » 38 » 44	10 12	8		5	3,3	22...110 28...140
» 44 » 50 » 50 » 58 » 58 » 65	14 16 18	9 10 11		5,5 6 7	3,8 4,3 4,4	36...160 45...180 50...200
» 65 » 75	20	12	0,6...0,8	7,5	4,9	56...220
» 75 » 85 » 85 » 95	22 25	14		9	5,4	63...250 70...280

П р и м е ч а н и я: 1. Длины призматических шпонок l выбирают из следующего ряда: 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 32, 36, 40, 45, 50, 56, 63, 70, 80, 90, 100, 110, 125, 140, 160, 180, 200, 220, 250.
2. Пример условного обозначения шпонки исполнения l , размеры $b=16$ мм, $h=10$ мм, $l=50$ мм: Шпонка 16×10×50 ГОСТ 23360—78.

Условие прочности шпонки при срезе:
$$\tau_{cp} = \frac{2M}{d \cdot \ell \cdot h} \leq [\tau_{cp}]$$

где $[\tau_{cp}]$ –допускаемое напряжение среза, $[\tau_{cp}] = 60 \dots 100$ МПа.

В случае невыполнения условий прочности принимаются размеры шпонки из следующего ряда, либо устанавливают две диаметрально противоположных шпонки.

Задание к практической работе: Подобрать размеры шпоночного соединения призматической шпонкой для вала диаметром d , передающего вращающий момент M ; проверить прочность шпонки на срез и прочность соединения на смятие.

Ход выполнения работы.

1. Записать условие задачи и исходные данные в соответствии с вариантом (таблица 2)

2. Выбрать размеры поперечного сечения шпонки по таблице 2.

Таблица 2 - Исходные данные к практической работе №9

№ вар.	$d, \text{мм}$	$M, \text{Нм}$	Материал ступицы	№ вар.	$d, \text{мм}$	$M, \text{Нм}$	Материал ступицы	№ вар.	$d, \text{мм}$	$M, \text{Нм}$	Материал ступицы
1	25	70	Сталь 45	10	60	190	чугун	19	30	80	Сталь 35
2	30	75		11	55	180		20	35	90	
3	35	80		12	50	170		21	38	112	
4	38	90		13	48	160		22	40		
5	40	120	чугун	14	45	150	Сталь 45	23	42		Сталь 35
6	42	130		15	38	140		24	45		
7	45	180		16	35	120		25	48		
8	48	170		17	38	145		26	50		
9	50	190		18	30	115		27	54		

3. Определить длину ступицы.

4. Определить длину шпонки, согласовав ее со стандартным рядом длин (таблица 1).

5. Проверить прочность шпонки на срез.

6. Проверить прочность соединения на смятие.

7. Проанализировать полученные результаты.

8. Сформулировать вывод по работе.

9. Ответить на контрольные вопросы:

1). Назначение и устройство шпоночного соединения?

2). Каким образом задаются размеры шпонки?

3).Сформулировать критерии работоспособности шпоночного соединения.

4).Сущность проверочных расчетов соединения на срез и смятие?

Структура отчета по практической работе

- 1.Номер и название практической работы
- 2.Цель:
- 3.Задание к практической работе.
4. Исходные данные:
- 5.Определение размеров поперечного сечения шпонки.
- 6.Определение длины шпонки.
- 7.Проверка прочности шпонки на срез.
- 8.Проверка соединения на смятие.
9. Оценка результатов расчетов.
- 10.Вывод по работе
- 11 Ответы на контрольные вопросы.

Практическая работа №8.

Название практической работы: Определение главных центральных моментов инерции составных сечений.

Цель: освоение методики расчета осевых моментов составных сечений.

Умения:(элементы) – проводить несложные расчеты элементов конструкций на жесткость при изгибе;

-применять при анализе механического состояния понятия и терминологию технической механики;

Знания: (актуализация)- методики выполнения основных расчетов по сопротивлению материалов;

-методики расчета элементов конструкций на жесткость при изгибе.

Теоретический материал.

При изгибе поперечное сечение сопротивляется деформации не одинаково, при расчетах напряжений геометрическими характеристиками поперечного сечения, влияющие на сопротивление сечения деформированию, являются осевые моменты инерции:

1). осевой момент инерции относительно оси X - J_x

2). осевой момент инерции относительно оси Y - J_y

Осевые моменты инерции характеризуют сопротивление сечения повороту относительно соответствующей оси.

Главные оси — это оси, относительно которых осевые моменты инерции принимают экстремальные значения: минимальный и максимальный.

Оси симметрии сечения являются главными центральными осями

Главные центральные моменты инерции — это моменты инерции относительно главных осей, проходящих через центр тяжести.

Оси симметрии сечения являются главными центральными осями.

Моменты инерции простейших сечений:

1) для прямоугольника и квадрата $J_x = \frac{bh^3}{12}$; $J_y = \frac{hb^3}{12}$

2) для круга $J_x = J_y = 0,05d^4$, где d — диаметр круга

3) для кольца $J_x = J_y = 0,05d^4(1-c^4)$, где d — наружный диаметр кольца, c — коэффициент кольца $c = d_{вн}/d$; $d_{вн}$ — внутренний диаметр кольца;

Моменты инерции относительно параллельных осей

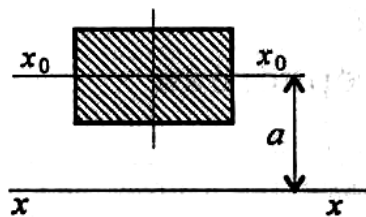


Рисунок 1 - Схема для расчета осевых моментов инерции относительно параллельных осей.

$$J_x = J_{x_0} + a^2 \cdot A$$

где J_x — момент инерции относительно оси xx ,

J_{x_0} — момент инерции относительно оси x_0x_0 ;

A — площадь сечения; a — расстояние между осями.

Рекомендации по выполнению работы:

1. Момент инерции сложной фигуры является суммой моментов инерции частей, на которые ее разбивают. Разбить заданную фигуру на простейшие части, для каждой определить главные центральные моменты инерции по известным формулам.

2. Моменты инерции вырезов и отверстий можно представить отрицательными величинами.

3. Заданные сечения симметричны, главные центральные оси совпадают с осями симметрии составного сечения.

4. Моменты инерции частей, чьи главные центральные оси не совпадают с главными центральными осями сечения в целом, пересчитывают с помощью формулы для моментов инерции относительно параллельных осей. Расстояние между параллельными осями определить по чертежу.

Пример: Для заданного сечения (рис. 2) вычислить главные центральные моменты инерции.

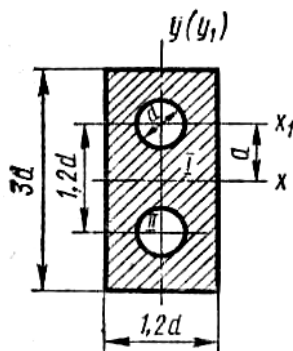


Рисунок 2 - Плоская фигура к примеру.

Решение:

Сечение имеет две оси симметрии, которые являются его главными центральными осями. Разбиваем сечение на две простейшие фигуры: прямоугольник (I) и два круга (II).

Момент инерции прямоугольника относительно оси x

$$J_x^I = \frac{bh^3}{12} = \frac{1,2d \cdot (3d)^3}{12} = \frac{32,4d^4}{12} = 2,7d^4$$

Ось x (центральная ось сечения) не является центральной осью круга.

Следовательно, момент инерции круга следует вычислять по формуле

$$J_x'' = J_{x1}'' + a^2 \cdot A = 0,05d^4 + (0,6d)^2 \cdot [\pi \cdot (0,5d)]^2 = 0,05d^4 + 0,25 \cdot \pi \cdot d^4 = 0,05d^4 + 0,2826d^4 = 0,3326d^4$$

$$\text{где } J_{x1}'' = 0,05d^4; A = \pi R^2 = \pi \cdot (0,5d)^2$$

$$\text{Тогда } J_x = J_x^I - 2 \cdot J_x'' = 2,7d^4 - 2 \cdot 0,3326d^4 = 2,0348d^4.$$

Ось y является центральной для прямоугольника и кругов. Следовательно,

$$J_y = J_y^I - 2J_y'' = \frac{hb^3}{12} - 2 \cdot 0,05d^4 = \frac{3d \cdot (1,2d)^3}{12} - 0,1d^4 = 0,332d^4$$

Задание к практической работе:

Вычислить главные центральные моменты инерции сечений относительно оси X .

Ход выполнения работы.

1. Записать условие задания и исходные данные в соответствии с вариантом (таблица1).

Таблица 1- Исходные данные к практической работе №10

№ вар	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
d1 мм	80	-	-	90	-	100	82	-	-	96	-	98	84
d2 мм	-	12	14	16	14	20		18	10	12	14	18	-
h	-	80	84	-	86	-		90	92	-	94	-	-
b	-	38	36	-	40	-		42	44	-	50	-	-
a	48	52	56	60	58	48	48	56	60	64	48	52	56
h1	8	-	-	12	-	-	12	-	-	10	-	-	12
b1	10	-	-	30		-	20	-	-	22	-	-	18
h2	-	20	-	-	8	30	-	22	-	-	10	32	-

Таблица 1- (продолжение) Исходные данные к практической работе №10.

№ вар	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
схема	б	в	г	д	е	а	б	в	г	д	е	а	б
d1 мм	-	-	90	-	100	86	-	-	104	-	88	90	-

d₂ мм	14	16	18	20	32	-	10	8	20	20	22	-	8
h	96	98	-	110	-	-	102	104	-	110	-	-	80
b	40	50	-	60	-	-	62	70	-	60	-	-	50
a	60	58	48	48	50	52	54	56	50	52	48	46	48
h₁	-	-	20	-	-	18	-	-	16	-	-	20	-
b₁	-	25	38	-	-	25	-	40	32	-	-	30	-
h₂	18	12	-	10	18	-	28	20	-	12	16	-	30

2. Выполнить эскиз плоской фигуры с указанием заданных размеров в соответствии с таблицей 1 и рисунком 3.

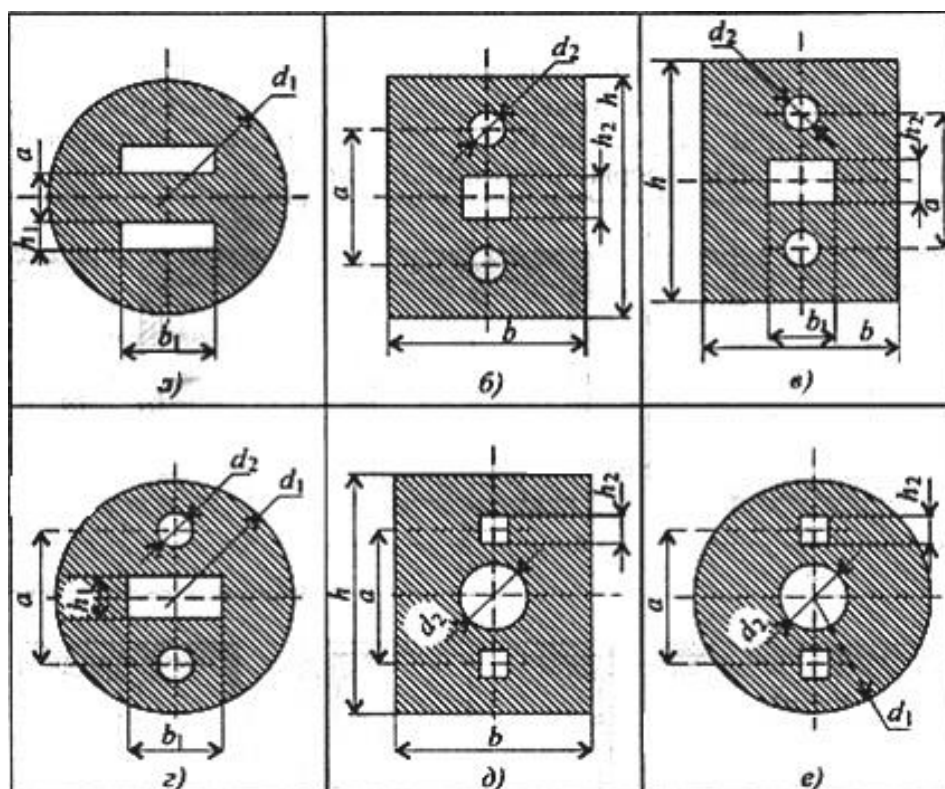


Рисунок 3 - Эскизы плоских фигур к практической работе №10

3. Разбить фигуру на простейшие геометрические.

4. Указать положение главной центральной оси X.

3. Указать положение осей X в каждой полученной фигуре, указать расстояния от данных осей до соответствующей центральной оси X.

4. Определить осевые моменты инерции каждой фигуры относительно центральной оси X по соответствующим формулам.

5. Определить осевой момент инерции составной фигуры относительно центральной оси X.

8. Сформулировать вывод по работе

9. Ответить на контрольные вопросы.

1). Что характеризуют осевые моменты инерции поперечных сечений?

2). Как изменится осевой момент инерции круглого поперечного сечения при увеличении диаметра вдвое?

3). Запишите формулы для определения осевого момента инерции относительно оси X для круга, прямоугольника и кольца.

Структура отчета по практической работе.

1. Номер и название практической работы

2. Цель:

3. Задание к практической работе:

4. Эскиз фигуры.

5. Разбивка фигуры на простейшие геометрические.

6. Определение осевых моментов инерции каждой фигуры относительно центральной оси X .

7. Определение осевых моментов инерции составной фигуры относительно центральной оси X .

10. Вывод по работе.

11. Ответы на контрольные вопросы.

-Практическая работа №9

Название практической работы: Выполнение расчетов бруса круглого поперечного сечения на прочность и жесткость при кручении.

Цель: Освоение методики расчетов на прочность и жесткость при кручении.

Умения: - определять характер нагружения и напряженное состояние в точке элемента конструкции;

- выполнять несложные расчеты на прочность и жесткость при кручении;

Знания (актуализация): методики выполнения расчетов по сопротивлению материалов;

- методики расчета элементов конструкций на прочность, жесткость при кручении;

Теоретический материал.

Кручением называется такой вид нагружения, при котором в поперечном сечении элемента конструкции возникает только один внутренний силовой фактор – крутящий момент M_z .

Величина крутящего момента в любом поперечном сечении определяется алгебраической суммой скручивающих моментов, приложенных к оставшейся части. $M_z = \sum m_{\text{ост.ч}}$ (1). При определении крутящего момента в любом поперечном сечении используется метод сечений.

Скручивающий момент считается положительным, если он стремится повернуть оставшуюся часть по часовой стрелке при взгляде со стороны рассматриваемого сечения.

Сущность проверочного расчета на прочность при кручении заключается в определении максимальных напряжений в наиболее **опасном** сечении и в сравнении их с величиной допускаемых напряжений, т. е. проверить выполнение условия прочности на кручение.

$$\tau_{kp \max} = \frac{M_{z \max}}{W_p} \leq [\tau_{kp}]$$

где $M_{z \max}$ – наибольший крутящий момент, Нм

$[\tau_{kp}]$ – допускаемое касательное напряжения кручения, Н/мм²

W_p – полярный момент сопротивления поперечного сечения, мм³ – геометрическая характеристика прочности поперечного сечения при кручении, зависящая от формы и размеров поперечного сечения;

$W_p = 0,2d^3$ – для круглого поперечного сечения;

$W_p = 0,2 d^3 (1-\alpha^4)$ – для кольцевого сечения

где α – коэффициент кольца $\alpha = \frac{d_0}{d}$

Сущность проверочного расчета элемента конструкции на жесткость при кручении заключается в определении

максимального относительного угла закручивания и в сравнении его величины с допусковым значением, т.е. проверяется

выполнение условия жесткости:
$$\varphi_{0\max} = \frac{M_{z\max}}{G \cdot I_p} \leq [\varphi_0],$$

где G – модуль поперечной упругости, характеризующий жесткость материала при кручении;

I_p – полярный момент инерции поперечного сечения, мм^4 –

геометрическая характеристика жесткости поперечного сечения при кручении, зависящая от формы и размеров поперечного сечения;

-для круга $I_p = 0,1d^4, \text{мм}^4$;

-для кругового кольца $I_p = 0,1d^4(1-\alpha^4)$,

где α – коэффициент кольца $\alpha = \frac{d_0}{d}$

Расчеты на прочность и жесткость проводится для наиболее опасного участка, определяемого по эпюре крутящих моментов по величине максимального крутящего момента.

Эпюра крутящих моментов (\mathcal{M}_z) – график распределения крутящих моментов по длине бруса.

Правила построения \mathcal{M}_z :

- проводится базовая линия эпюры параллельно оси Z ;
- базовая линия эпюры разбивается на участки перпендикулярами, опущенными из точек приложения скручивающих моментов на базовую линию;
- участки нумеруются;
- определяется на каждом участке величина крутящего момента (по ф. 1), используя метод сечений;
- строится \mathcal{M}_z в виде прямых линий, параллельных оси с ординатами в соответствии с определенными ранее значениями крутящих моментов.

Контроль правильности построения эпюры крутящих моментов:

1. M_z – прямая, параллельная базовой линии.
2. M_z скачкообразно изменяет свое значение в точках приложения скручивающих (внешних) моментов, величина скачка определяется величиной скручивающего момента.

Задание к практической работе: Проверить прочность и жесткость стального вала для схемы нагружения (рисунок1) соответствующей варианту. Проанализировать полученные результаты, в случае не выполнения условий прочности и жесткости предложить варианты обеспечения прочности и жесткости.

Ход выполнения работы

1. Записать задание и исходные данные в соответствии с вариантом по таблице1.

Таблица 1 - Исходные данные к практической работе №12.

№ вариант а	Поперечное сечение	Размеры поперечного сечения, мм	№ схемы	Мощность, кВт			Угловая скорость ω , с ⁻¹	Допускаемое касательное напряжение [τ_k], Н\ мм ²	Допускаемый от- носительный угол закручивания
				P ₁	P ₂	P ₃			
1	круг	d=20	1	35	20	15	20	25	0,016
2		d=25	2	150	100	50	45		
3		d=30	3	40	25	20	25		
4		d=35	4	110	60	30	35		
5		d=40	5	40	15	25	30		
6	кольцо	d=45; d ₀ =40	6	130	90	40	45		
7		d=55; d ₀ =48	7	100	65	25	35		
8		d=64; d ₀ =56	8	90	45	20	20		
9		d=75; d ₀ =65	9	120	30	30	20		
10		d=70; d ₀ =60	10	80	55	35	25		
11	круг	D=48	1	110	50	40	20	20	0.02
12		d=58	2	90	65	25	30		
13		d=65	3	65	35	20	25		
14		d=38	4	140	110	60	45		
15		d=45	5	120	80	40	35		
16		d=56	6	15	10	35	16		
17		d=34	7	75	80	25	40		

18		d=52	8	65	55	25	20		
19		d=65	9	45	50	35	23		
20		d=48	10	80	65	45	30		
21	Круговое кольцо	D=45 d=38	1	50	40	30	28	30	0.022
22		D=68 d=60	2	70	60	40	25		
23		d=75; d=68	3	55	40	18	32		
24		d=85; d=78	4	65	55	35	35		
25		d=56; d=50	5	40	30	30	16		
26		d=86; d=76	6	100	18	50	20		
27		d=80; d=75	7	90	25	40	20		

2. Выполнить схему нагружения в соответствии с таблицей 1 и рисунком 1.

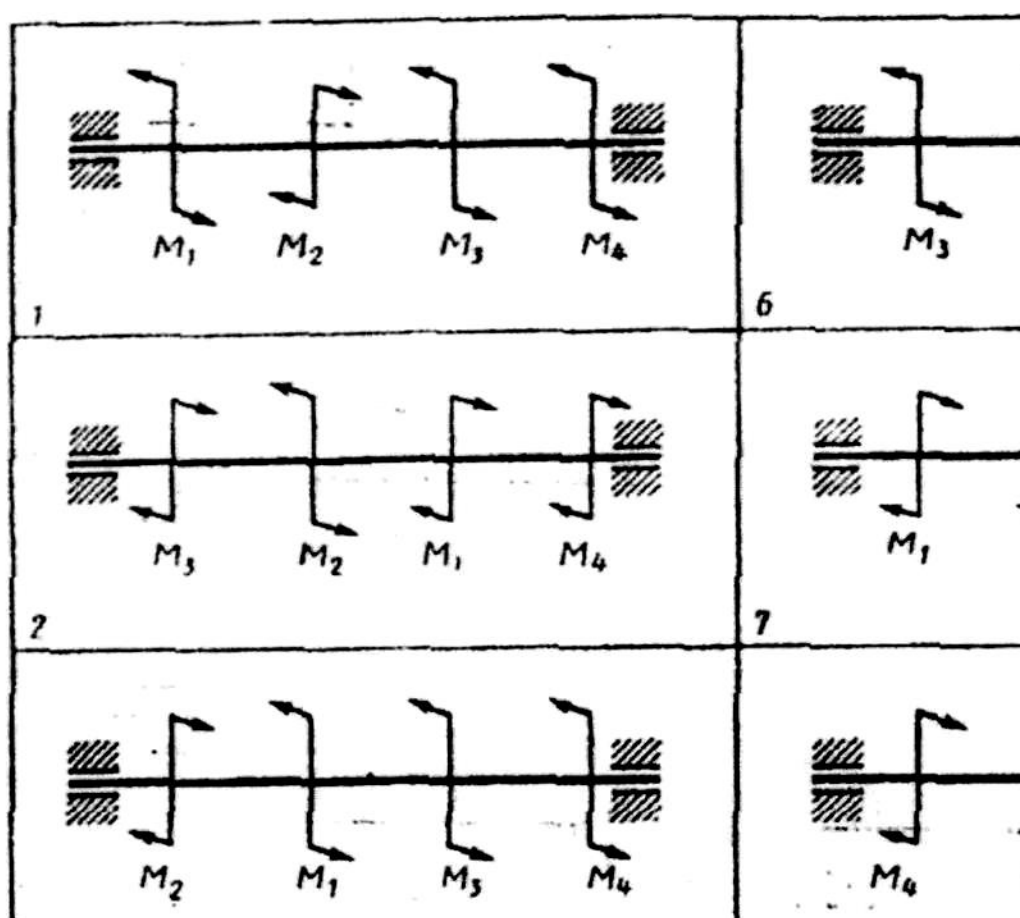


Рисунок 1 - Схемы нагружения к практической работе №9

3. Определить величину скручивающих моментов

$$m = \frac{P \cdot 10^3}{\omega}, \text{ Нм}$$

где P – мощность, кВт

ω – угловая скорость, с^{-1}

4. Определить уравнивающий момент из условия равновесия:

$$\sum m_{iz \text{ ост. ч. }} = 0$$

5. Используя метод сечений для каждого участка определить величину крутящего момента и построить эпюру крутящих моментов \mathcal{M}_Z .

6. Для наиболее опасного участка вала (см. эпюру крутящих моментов) определить максимальные напряжения кручения в поперечном сечении.

7. Полученное значение напряжения сравнить с допускаемым напряжением и сделать вывод о прочности.

8. Проверить выполнения условия жесткости и сделать вывод об обеспечении жесткости.

9. В случае невыполнения одного из условий предложить возможные варианты их выполнения.

10. Сформулировать вывод по работе

11. Ответить на контрольные вопросы:

- 1). Какие внешние нагрузки способны вызвать кручение?
- 2). Назовите внутренний силовой фактор, возникающий при кручении. Как определяется его величина и знак в любом поперечном сечении?
- 3). Сущность проверочных расчетов на прочность и жесткость при кручении?
- 4). Назовите геометрические характеристики жесткости и прочности поперечного сечения при кручении.

Структура отчета по практической работе

1. Номер и название работы.
2. Цель
3. Задание и исходные данные
4. Схема нагружения
5. Определение величины скручивающих моментов.
6. Определение величины уравнивающего момента.

7. Построение эпюры крутящих моментов и определение положения наиболее опасного сечения.

8. Определение величины максимальных напряжений кручения.

9. Вывод об обеспечении прочности.

10. Проверка жесткости наиболее опасного сечения.

11. Вывод об обеспечении жесткости.

12. Вывод по работе.

13. Ответы на контрольные вопросы.

Практическое занятие № 10.

Название практической работы: Построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов.

Цель: освоение методики построения эпюр поперечных сил и изгибающих моментов.

Умения (элементы):- определять характер нагружения и напряженное состояние в точке элемента конструкции;

- выполнять несложные расчеты на прочность при изгибе;

Знания (актуализация): - методики выполнения основных расчетов по сопротивлению материалов;

- методики расчета элементов конструкций на прочность при изгибе;

Теоретический материал

Изгиб – это такой вид нагружения бруса, при котором в его поперечных сечениях возникают изгибающие моменты. Изгиб, при котором в поперечных сечениях кроме изгибающих моментов возникают и поперечные силы, называется поперечным; если поперечные силы не возникают, то изгиб называется чистым.

Величина поперечной силы в любом поперечном сечении определяется алгебраической суммой внешних сил, приложенных к оставшейся части:

$$Q_y = \sum F_{iy \text{ ост. ч.}}$$

Правило знаков поперечных сил: поперечная сила считается положительной, если: внешняя нагрузка стремится повернуть оставшуюся часть вокруг рассматриваемого сечения по часовой стрелке, если против часовой стрелки – отрицательной.

Изгибающий момент в произвольном поперечном сечении численно равен алгебраической сумме моментов внешних сил, приложенных к оставшейся части относительно рассматриваемого сечения: $M_x = \sum M_{\text{сеч}}(F_{i\text{юст. ч.}})$

Правило знаков изгибающих моментов: (при мысленном закреплении в рассматриваемом сечении), изгибающему моменту приписывается знак плюс, если внешняя нагрузка изгибает оставшуюся часть выпуклостью вниз, если выпуклостью вверх – то знак минус.

Правила построения эпюр поперечных сил по характерным точкам:

1. В **концевом сечении** поперечная сила равна нулю, если не приложена сосредоточенная сила (активная или реактивная).
2. Поперечная сила **скачкообразно** изменяет свое значение в сечении, в котором приложена сосредоточенная сила, величина скачка равна величине приложенной силы.
3. На участке, нагруженном равномерно распределенной нагрузкой, эпюра изображается прямой линией, наклоненной к оси балки.
4. На участке, свободном от действия равномерно распределенной нагрузки, эпюра- прямая линия, параллельная оси.

Правила построения эпюр изгибающих моментов по характерным точкам:

1. В **концевом сечении** изгибающий момент равен нулю, если не приложен внешний сосредоточенный момент. Если же в концевом сечении приложена пара сил, то изгибающий момент равен моменту приложенной пары.
2. Изгибающий момент **скачкообразно** изменяет свое значение в сечении, в котором приложен сосредоточенный момент, величина скачка равна величине приложенного момента.

3. На участке, нагруженном равномерно распределенной нагрузкой, эпюра изображается квадратичной параболой, обращенной навстречу нагрузке.
4. На участке, свободном от действия равномерно распределенной нагрузки, эпюра – наклонная прямая.
5. На участке действия равномерно распределенной нагрузки в точке, где эпюра поперечных сил плавно переходит через ноль, на эпюре изгибающих возникает экстремум.

Анализ эпюры изгибающих моментов позволяет определить положение наиболее опасного сечения (по величине максимального изгибающего момента).

Контроль правильности построенных эпюр:

1. ЭQ скачкообразно изменяет свое значение в точках приложения сосредоточенных сил, величина скачка определяется величиной приложенной силы.
2. ЭQ – прямая, параллельная оси эпюры на участках, свободных от действия равномерно распределенной нагрузки и наклонная прямая на участках действия равномерно распределенной нагрузки.
3. ЭМ скачкообразно изменяет свое значение в точках приложения сосредоточенных моментов, величина скачка определяется величиной приложенного момента.
4. ЭМ- наклонная прямая на участках, свободных от действия равномерно распределенной нагрузки и парабола, обращенная выпуклостью навстречу нагрузке на участках действия равномерно распределенной нагрузки.

Пример: Построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов (рис.1)

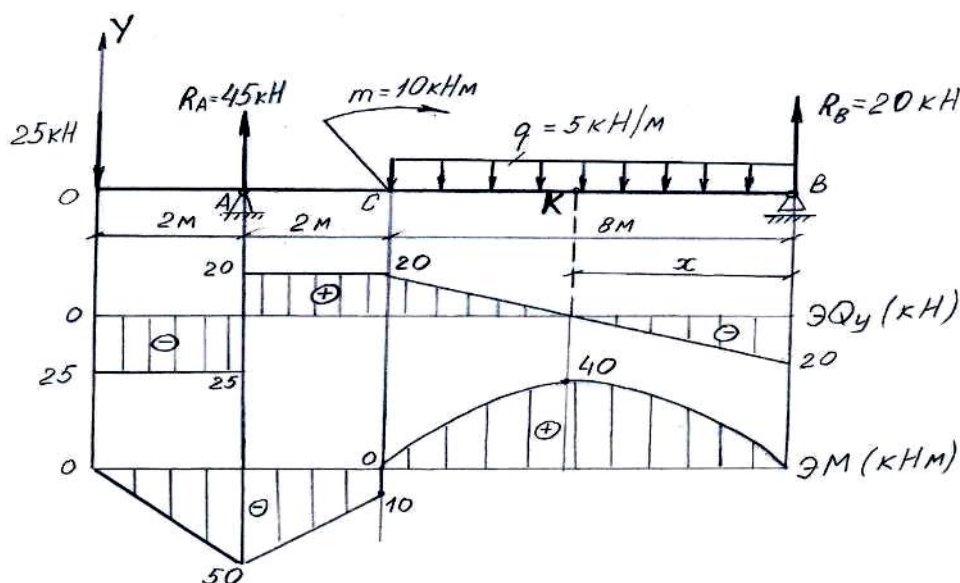


Рисунок 1 - Расчетная схема к примеру.

Решение:

1. Определение реакций связей.

$$1.1. \sum M_A = 0; -25 \cdot 2 + 10 + (5 \cdot 8) \cdot 6 - R_B \cdot 10 = 0$$

$$-R_B \cdot 10 = 50 - 10 - 240; \quad R_B = 20 \text{ (кН)}$$

$$1.2. \sum M_B = 0; -25 \cdot 12 + R_A \cdot 10 + 10 - (5 \cdot 8) \cdot 4 = 0;$$

$$R_A \cdot 10 = 300 - 10 + 160; \quad R_A = 45 \text{ (кН)}$$

1.3. Проверка правильности решения: доказать, что $\sum F_{iy} = 0$

$$\sum F_{iy} = -25 + 45 - (5 \cdot 8) + 20 = -65 + 65 = 0.$$

2. Построение эпюры поперечных сил ($\sum Q_y$)

$$Q_y = \sum F_{iy \text{ ост. ч.}}, \text{ кН}$$

$$Q_{y0} = -25 \text{ (по правилу концевого сечения)}$$

$$Q_{\text{слева}}^{\text{YA}} = -25; \quad Q_{\text{справа}}^{\text{YA}} = -25 + 45 = 20$$

$$Q_{yc} = -25 + 45 = 20; \quad Q_{yb} = -20 \text{ (по правилу концевого сечения)}$$

3. Построение эпюры изгибающих моментов ($\sum M_x$)

$$M_x = \sum M_{\text{сеч}} (F_{iy \text{ ост. ч.}}), \text{ кНм}$$

$$M_{x0} = 0 \text{ (по правилу концевого сечения)}$$

$$M_{xA} = -25 \cdot 2 = -50$$

$$M_{xc}^{\text{слева}} = -25 \cdot 4 + 45 \cdot 2 = -10$$

$$M_{xc}^{\text{справа}} = -25 \cdot 4 + 45 \cdot 2 + 10 = 0$$

$$M_{KB} = 0 \text{ (по правилу концевого сечения)}$$

На участке действия равномерно распределенной нагрузки Э Q_y плавно переходит через «0», поэтому на эпюре изгибающих моментов в точке К возникает экстремальное значение момента.

Из условия $Q_{yK} = 0$ определяем длину участка ВК (рис.2)

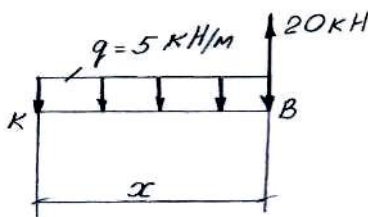


Рисунок 2 - Схема для определения экстремального момента.

$$Q_{yK} = -20 + 5 \cdot x = 0; \quad 5x = 20; \quad x = 4(\text{м})$$

Определим момент в точке К:

$$M_K = 20 \cdot x - (5 \cdot x) \cdot x/2 = 20 \cdot 4 - 5 \cdot 4 \cdot 2 = 40 \text{ (кНм)}$$

Задание к практической работе:

Для заданных схем нагружения балок: определить реакции связей, построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов (рисунок 3), определить положение наиболее опасного сечения.

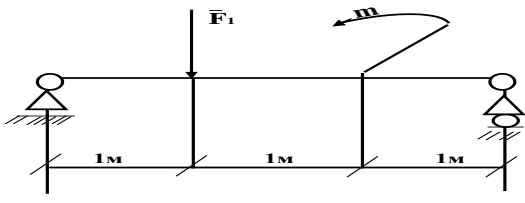
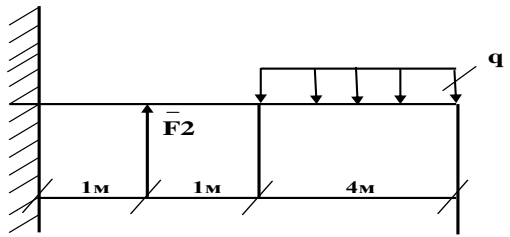
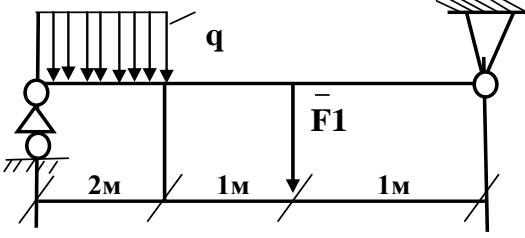
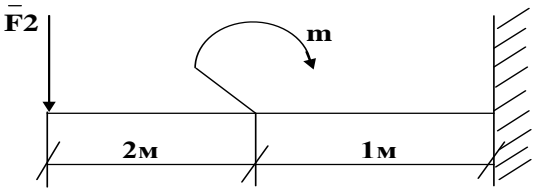
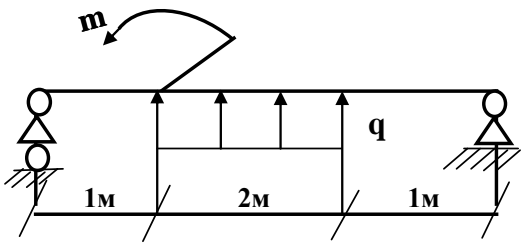
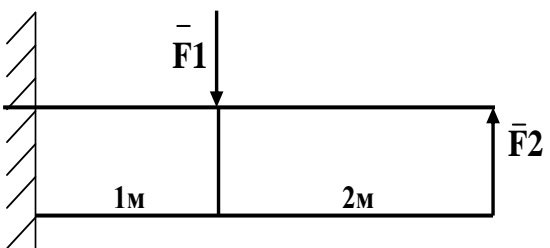
1. Записать задание и выбрать исходные данные в соответствии с вариантом по таблице 1.

Таблица 1 - Исходные данные к практической работе №13.

№ варианта	№ схемы	F_1 , кН	F_2 , кН	q , кН/м	m , кНм
1	1	6	12	4	4
2	2	8	-6	2	5
3	3	10	-8	8	6
4	4	12	15	10	8
5	5	20	50	15	10
6	6	5	19	20	25
7	7	8	20	32	16
8	8	14	23	6	50

9	9	25	28	8	42
10	10	30	17	10	18
11	1	32	16	16	10
12	2	16	5	30	5
13	3	4	42	28	25
14	4	3	30	8	8
15	5	7	20	5	16
16	6	9	19	14	32
17	7	19	4	6	4
18	8	28	16	10	8
19	9	30	5	8	10
20	10	20	10	4	6
21	1	7	26	2	4
22	2	8	20	12	25
23	3	40	35	20	18
24	4	24	20	3	14
25	5	18	25	10	12
26	6	25	15	10	4
27	7	19	20	25	18

2. Выполнить схему нагружения в соответствии с вариантом по таблице 1 и рисунку 3.

1		
2		
3		

4		
5		
6		
7		
8		
9		

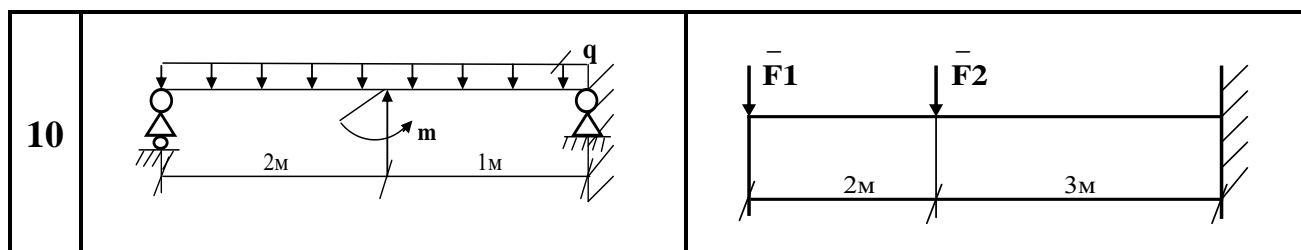


Рисунок 3 - Схемы нагружения к практической работе №10.

3. Определить реакции связей (для двух опорной балки):

3.1. заменить связи реакциями связей;

3.2. составить уравнения равновесия и определить реакции связей;

3.3. произвести контроль правильности определенных реакций.

4. Построить ЭQ:

4.1. определить величину поперечной силы в характерных точках (в сечениях приложения сосредоточенных сил расчет произвести дважды: слева и справа от сечения);

4.2. построить ЭQ по полученным ординатам.

5. Построить ЭМ:

5.1. определить величину изгибающего момента в характерных точках (в сечениях приложения сосредоточенных моментов расчет произвести дважды: слева и справа от сечения);

5.2. построить ЭМ по полученным ординатам.

6. Произвести контроль правильности построенных эпюр.

7. Определить положение наиболее опасного сечения.

8. Сформулировать вывод по работе.

9. Ответить на контрольные вопросы.

1). Какие внутренние силовые факторы возникают в поперечных сечениях при поперечном изгибе?

2). Запишите формулу для определения поперечной силы, укажите правило знаков.

3). Запишите формулу для определения изгибающего момента, укажите правило знаков.

- 4).Объясните причину скачкообразного изменения ординат ЭQ и ЭM .
- 5).С какой целью строятся ЭQ и ЭM?

Структура отчета по практической работе

- 1.Номер и название работы
- 2.Цель:
- 3.Задача №1.
 - 3.1.Схеманагружения.
 - 3.2. Исходные данные:
 - 3.3. Расчет реакций связей.
 - 3.4. Определение величины поперечной силы в характерных точках и построение ЭQ.
 - 3.5. Определение величины изгибающего момента в характерных точках и построение ЭM.
 - 3.6. Контроль правильности построенных эпюр.
 - 3.7. Определение положения наиболее опасного сечения.
4. Задача 2.
 - 4.1.Схеманагружения.
 - 4.2. Исходные данные:
 - 4.3. Определение величины поперечной силы в характерных точках и построение ЭQ.
 - 4.4. Определение величины изгибающего момента в характерных точках и построение ЭM.
 - 4.5. Контроль правильности построенных эпюр.
 - 4.6. Определение положения наиболее опасного сечения.
5. Вывод по работе.
6. Ответы на контрольные вопросы:

Критерии оценивания выполнения практических работ.

№ п/п	Критерии оценивания	Оценка
1	Выполнение работы без ошибок в полном соответствии с методическими рекомендациями без помощи преподавателя	5 (отлично)
2	Выполнение работы в полном соответствии с методическими рекомендациями с несущественными ошибками, исправленными самостоятельно	4 (хорошо)
3	Выполнение работы в основном в соответствии с методическими рекомендациями с несущественными ошибками, исправленными с помощью преподавателя.	3 (удовлетворительно)

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

При подготовке и выполнении практических работ необходимо пользоваться теоретическим материалом, представленным в данных методических рекомендациях (в разрезе каждой практической работы.) и ГОСТами на детали, узлы и соединения.