

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

15.02.16 Технология машиностроения

ФП Профессионалитет

Челябинск 2023 г.

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Методические рекомендации по выполнению практических работ предназначены для студентов специальности 15.02.16 Технология машиностроения

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.

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

ОК 05. 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 1.2. Осуществлять сбор, систематизацию и анализ информации для выбора оптимальных технологических решений, в том числе альтернативных в соответствии с принятым процессом выполнения своей работы по изготовлению деталей

ПК 1.4. Осуществлять выполнение расчётов параметров механической

обработки и аддитивного производства в соответствии с принятым технологическим процессом согласно нормативным требованиям, в том числе с использованием систем автоматизированного проектирования

ПК 1.5. Осуществлять подбор конструктивного исполнения инструмента, материалов режущей части инструмента, технологических приспособлений и оборудования в соответствии с выбранным технологическим решением, в том числе с использованием систем автоматизированного проектирования.

ПК 1.7. Осуществлять разработку и применение управляющих программ для металлорежущего или аддитивного оборудования в целях реализации принятой технологии изготовления деталей на механических участках машиностроительных производств, в том числе с использованием систем автоматизированного проектирования.

ПК 1.9. Организовывать эксплуатацию технологических приспособлений в соответствии с задачами и условиями технологического процесса механической обработки заготовок и/или аддитивного производства сообразно с требованиями технологической документации и реальными условиями технологического процесса.

ПК 2.2. Осуществлять сбор, систематизацию и анализ информации для выбора оптимальных технологических решений, в том числе альтернативных в соответствии с принятым процессом выполнения своей работы по сборке узлов или изделий

ПК 2.4. Осуществлять выполнение расчётов параметров процесса сборки узлов или изделий в соответствии с принятым технологическим процессом согласно нормативным требованиям, в том числе с использованием систем автоматизированного проектирования

ПК 2.5. Осуществлять подбор конструктивного исполнения сборочного инструмента, материалов исполнительных элементов инструмента, приспособлений и оборудования в соответствии с выбранным технологическим решением, в том числе с использованием систем автоматизированного проектирования.

ПК 2.9. Организовывать эксплуатацию технологических сборочных приспособлений в соответствии с задачами и условиями технологического процесса сборки узлов или изделий сообразно с требованиями технологической документации и реальными условиями технологического процесса.

ПК 3.1. Осуществлять диагностику неисправностей и отказов систем металлорежущего и аддитивного производственного оборудования в рамках своей компетенции для выбора методов и способов их устранения.

ПК 4.1. Осуществлять диагностику неисправностей и отказов систем сборочного производственного оборудования в рамках своей компетенции для выбора методов и способов их устранения.

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

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

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 с формами отчетов, приведенными в методических рекомендациях.

Перечень практических работ

№ работы	Тема практических работ	Кол. часов
1	Определение равнодействующей плоской сходящейся системы сил.	2
2	Определение реакций связей	2
3	Определение реакций опор балочных систем	2
4	Определение реакций опор редукторного вала	4
5	Определение центра тяжести составного сечения	2
6	Построение эпюр продольных сил и нормальных напряжений	2
7	Расчеты элементов конструкций на прочность и жесткость при растяжении (сжатии)	2
8	Выполнение расчетов на срез и смятие	2
9	Выполнение расчетов на прочность и жесткость при кручении	2
10	Определение осевых моментов инерции составных сечений, имеющих ось симметрии	2
11	Построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов	2
12	Расчеты на прочность при изгибе	2
13	Расчет бруса круглого поперечного сечения при совместном действии изгиба и кручения	2
14	Расчет многоступенчатого привода	2
15	Разборка и сборка цилиндрического редуктора	2
16	Подбор и расчет подшипников качения	2
	всего	34

Практическая работа №1 .

Название практической работы: Определение величины и направления равнодействующей плоской системы сходящихся сил.

Цель: освоение методики определения равнодействующей силы системы сходящихся сил

Умения (элементы): – применять при анализе механического состояния понятия и терминологию технической механики;

-проводить несложные расчеты элементов конструкций на прочность

Знания: - основные понятия теоретической механики;

-методика выполнения основных расчетов по теоретической механике.

Теоретический материал

Система сил, линии действия которых лежат в одной плоскости и пересекаются в одной точке, называется плоской системой сходящихся сил. Задачу определения равнодействующей плоской системы сходящихся сил можно решать двумя способами: графическим и аналитическим.

При *графическом* методе с помощью линейки, треугольника, циркуля и транспортира строят многоугольник сил. Для системы сил вектор равнодействующей силы можно определить, построив силовой многоугольник, который получается путем добавления каждого последующего вектора к концу предыдущего. При этом вектор равнодействующей силы имеет начало в начале первой силы и конец - в конце последней силы (рисунок 1). Последовательность сложения векторов сил не влияет на окончательный результат. Модуль равнодействующей силы определяется измерением замыкающей стороны построенного многоугольника с учетом выбранного масштаба построения.

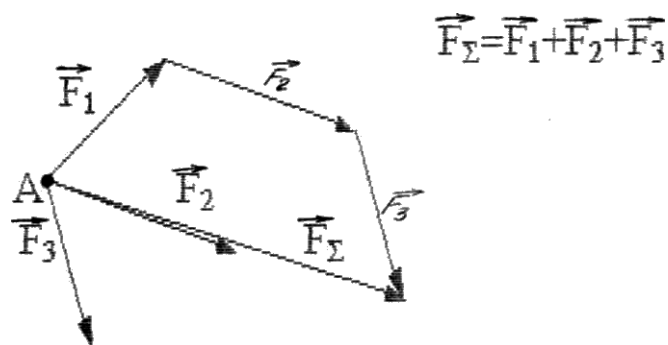


Рисунок 1 - Силовой многоугольник

Помимо графического метода равнодействующую силу находят *аналитическим* методом (методом проекций). В основе данного метода лежит методика определения проекции векторов сил на оси X, Y.

Величина проекции силы на ось определяется произведением модуля силы на косинус острого угла между вектором силы и соответствующей осью:

$$F_x = F \cdot \cos \alpha, \quad F_y = F \cdot \cos \beta$$

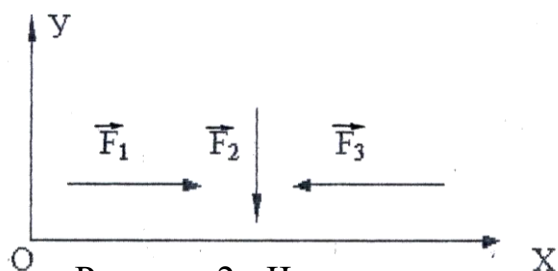
где α - острый угол между вектором силы F и осью X,

β – острый угол между вектором силы F и осью Y,

Условное правило знаков: проекция положительна, если направление вектора силы совпадает с положительным направлением оси; проекция отрицательна, если направление вектора силы противоположно положительному направлению оси.

При этом следует выделить следующие частные случаи (рисунок 2) :

1. если сила параллельна оси, то ее проекция на эту ось равна величине вектора силы;
2. если сила перпендикулярна оси, то ее проекция на эту ось равна нулю, так, например:



$$F_{1X} = F_1; \quad F_{2X} = 0; \quad F_{3X} = -F_3$$

$$F_{1Y} = F_{3Y} = 0; \quad F_{2Y} = -F_2$$

Рисунок 2 - Частные случаи определения проекций силы на ось

Определив проекции сил, образующих систему, на оси прямоугольной системы координат, можно найти величину и направление равнодействующей силы:

$$F_{\Sigma} = \sqrt{\sum F_{ix}^2 + F_{iy}^2},$$

ГДЕ $\sum F_{ix}$ - Сумма проекций всех сил на ось X,

$\sum F_{iy}$ - Сумма проекций всех сил на ось Y.

Направление вектора равнодействующей силы: $\alpha = \arcsin \sum F_{iy} / F_{\Sigma}$.

Задание к практической работе: Изобразить систему 5-ти сходящихся сил с указанием модуля каждой силы и углов между силами. Определить величину и направление равнодействующей силы изображенной системы сил графическим и аналитическим методами. Результаты проанализировать.

Ход выполнения работы

1.Вычертить систему сходящихся сил в соответствии с заданием.

2.Определить равнодействующую силу графическим методом:

2.1.Выбрать масштаб построения.

2.2.Построить для заданной системы сил силовой многоугольник.

2.3.Измерить длину вектора равнодействующей силы и в соответствии с выбранным масштабом вычислить ее модуль.

3 Определить равнодействующую силу аналитическим методом:

3.1. Поместить начало прямоугольной системы координат XOY в точку приложения сил.

3.2. Определить проекцию равнодействующей силы на ось X;

$$\sum F_{ix} = F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} + F_{4x} + F_{5x} \dots$$

3.3. Определить проекцию равнодействующей силы на ось Y:

$$\sum F_{iy} = F_{1y} + F_{2y} + F_{3y} + F_{4y} + F_{5y} \dots$$

3.4. Определить величину вектора равнодействующей силы:

$$F_{\Sigma} = \sqrt{\sum F_{ix}^2 + \sum F_{iy}^2}$$

3.5. Определить направление вектора равнодействующей силы:

$$\alpha = \arcsin \sum F_{iy} / F_{\Sigma}$$

4. Определить погрешность графического метода

$$\Delta F_{\Sigma} = \frac{F_{\Sigma}^{an} - F_{\Sigma}^{zp}}{F_{\Sigma}^{an}} \cdot 100\%$$

5. Сформулировать вывод по работе.

6. Ответить на контрольные вопросы:

- 1). Назовите способы определения равнодействующей силы.
- 2). Сформулируйте сущность равнодействующей силы.
- 3). При каких условиях проекция силы на ось будет равна нулю?
самой силе?
- 4). Сформулируйте условное правило знаков проекции силы на ось.

Структура отчета по работе

1. Номер и название практической работы.
2. Цель.
3. Задание к практической работе.
4. Система сходящихся сил.
5. Определение равнодействующей силы графическим методом.
 - 5.1. Масштаб построения силового многоугольника
 - 5.2. Силовой многоугольник
 - 5.3. Результат графического метода.
6. Определение равнодействующей аналитическим методом.
 - 6.1 Расчет проекций сил на ось X.
 - 6.2. Расчет величины проекции равнодействующей силы на ось X.
 - 6.3. Расчет проекций сил на ось Y.
 - 6.4. Расчет величины проекции равнодействующей силы на ось Y.
 - 6.5. Расчет величины модуля вектора равнодействующей силы .
 - 6.6. Определение направления вектора равнодействующей силы.

7. Анализ полученных результатов.
8. Вывод по работе.
9. Ответы на контрольные вопросы.

Практическая работа №2.

Название практической работы: Определение реакций связей.

Цель: освоение методики определения реакций связей стержневой системы.

Умения (элементы):—проводить несложные расчеты элементов конструкций на прочность

Знания (актуализация): - основные понятия теоретической механики; (уравнения равновесия плоской системы сходящихся сил, формулы для определения проекции силы на ось);

- методика определения статических нагрузок на элементы конструкций
- методика выполнения основных расчетов по теоретической механике

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); $F_{3x} = 0$

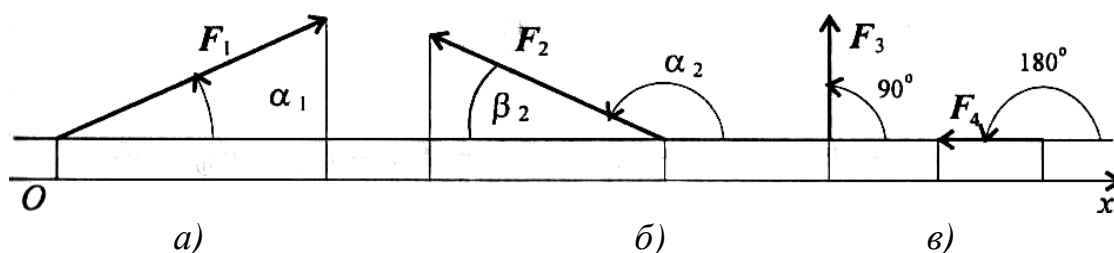


Рисунок 1 - Проекция силы на ось.

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

$$F_1 = 70 \text{ кН и } F_2 = 100 \text{ кН (рис. 2, а).}$$

Решение.

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

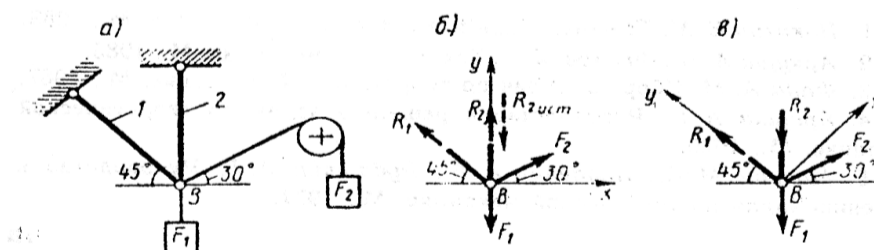


Рисунок 2 - Схема расчета к примеру

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 у 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: $\sum F_{ix1} = -R_2 \cdot \cos 45^\circ + F_2 \cdot \cos 15^\circ - F_1 \cdot \cos 45^\circ = 0$, (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 к практической работе: Определить реакции стержней (рисунок 3).

Ход выполнения работы:

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

Таблица 1 – Исходные данные к практической работе.

№ варианта	№ схемы	F₁ кН	F₂ кН	№ варианта	№ схемы	F₁ кН	F₂ кН
1	2	3	4	14	2	3	4
2	1	2	3	15	4	20	22
3	2	4	5	16	5	2	4
4	3	6	7	17	6	5	6
5	4	8	9	18	7	8	4
6	5	10	11	19	8	12	15
7	6	20	30	20	9	2	3
8	7	22	24	21	10	4	5
9	8	8	10	22	1	7	8
10	9	5	6	23	2	12	10
11	10	4	7	24	3	6	8
12	1	10	12	25	4	2	5
13	2	8	10	26	5	3	5

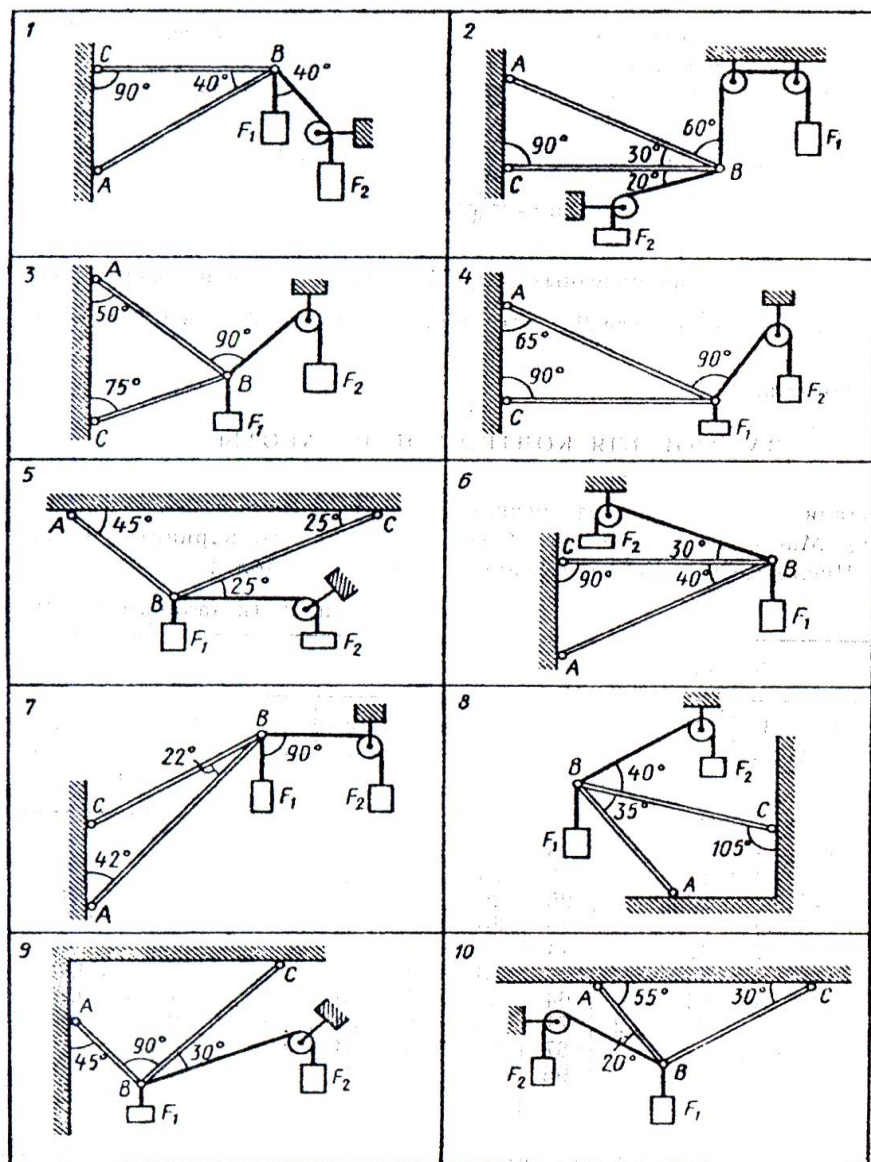


Рисунок 3 - Схемы стержней к практической работе

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).Какая система сил называется плоской сходящейся?
- 2). Запишите формулы для определения проекции силы на ось.
- 3). При каких условиях проекция силы на ось будет равна нулю? величине силы?
- 4). Сформулируйте условное правило знаков проекции силы на ось.
- 5).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 №3.

Название практической работы: Определение реакций опор балочных систем.

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

Умения:(элементы):—проводить несложные расчеты элементов конструкций на прочность (определение нагрузок в опорах балочных систем);

Знания (актуализация): - основные понятия теоретической механики

-методика определения статических нагрузок на элементы конструкций

- выполнение основных расчетов по теоретической механике

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).

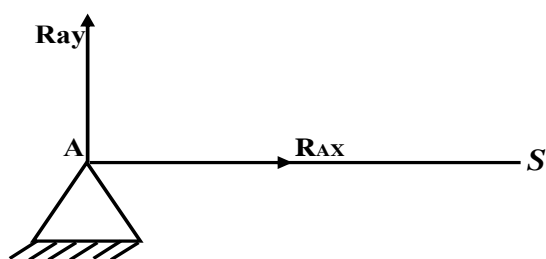


Рисунок 1а - Шарнирно-неподвижная опора

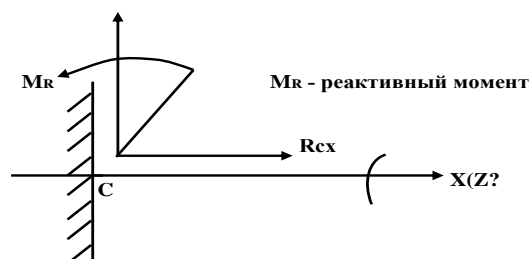


Рисунок 1в - Жесткая заделка

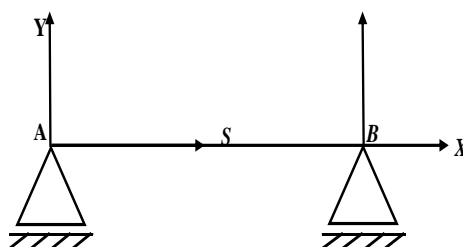


Рисунок1б - Шарнирно-подвижная опора

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

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

б) m - сосредоточенный момент пары сил в (·) 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 $F_q = q \cdot \ell$ (рис2);

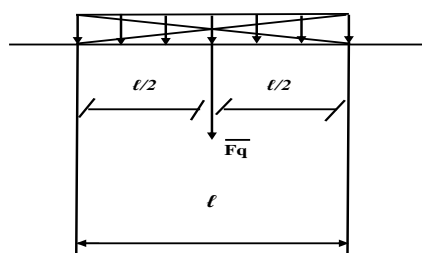


Рисунок 2 - Равномерно распределенная

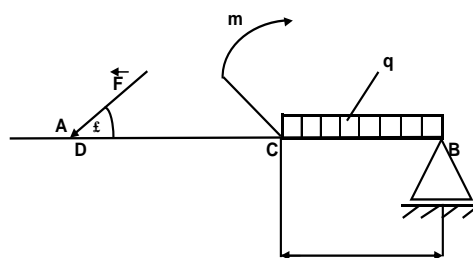


Рисунок 3 - Нагрузка, действующая на балку

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

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

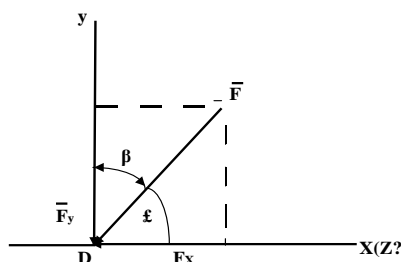


Рисунок 4 - Разложение силы на составляющие

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:

$$\begin{array}{lll}
 \sum F_{kx} = 0 & \sum M_a(\bar{F}_k) = 0 & \sum M_a(\bar{F}_k) = 0 \\
 \text{1 форма: } \sum F_{ky} = 0 & \text{2 форма: } \sum M_B(\bar{F}_k) = 0 & \text{3 форма: } \sum M_B(\bar{F}_k) = 0 \\
 \sum M_a(\bar{F}_k) = 0 & \sum F_{kx} = 0 & \sum M_c(\bar{F}_k) = 0
 \end{array}$$

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:

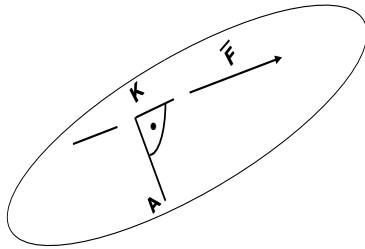
$$M_A(F) = F \cdot /AK/ \quad (\text{рисунок 5}),$$

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)

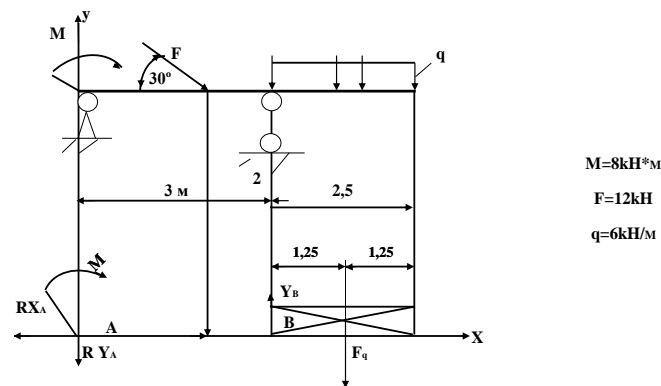


Рисунок 6 - Расчетная схема к примеру 1.

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:

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

$$F_y = F \cdot \sin 30^\circ = 12 \cdot 0.5 = 6 (\text{кН})$$

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.

$$R_{xa}=F_X=10,32\text{кН}$$

$$R_{YB} = \frac{M + F_y \cdot AC + F_q \cdot AD}{AB} = \frac{8 + 6 \cdot 3 + 15 \cdot 6,25}{5} = 23,95\text{кН}$$

$$R_{YA} = \frac{F_y \cdot CB - M - F_q \cdot BD}{AB} = \frac{6 \cdot 2 - 8 - 15 \cdot 1,25}{5} = -2,95\text{кН}$$

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 защемленной балки. Требуется определить: R_{YA} , R_{YA} , M_R (рисунок 8)

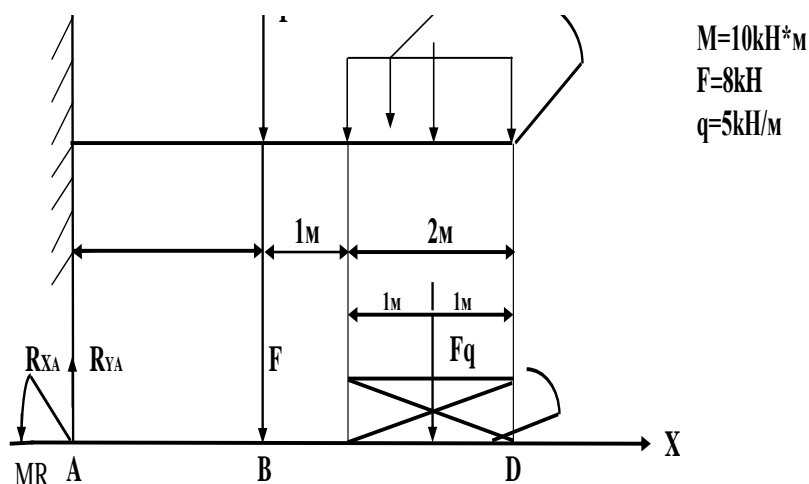


Рисунок 7- Расчетная схема к примеру 2.

3.2.1. Замена равномерно – распределенной нагрузки силой Fq

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

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.

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

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

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

3.2.5. Вычисление опорных реакций.

$$R_{XA} = 0$$

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

$$M_R = F \cdot AB + Fq \cdot AC - M = 8 \cdot 2 + 10 \cdot 2 - 10 = 46 \text{ кНм}$$

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

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

Вывод: решение верно

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

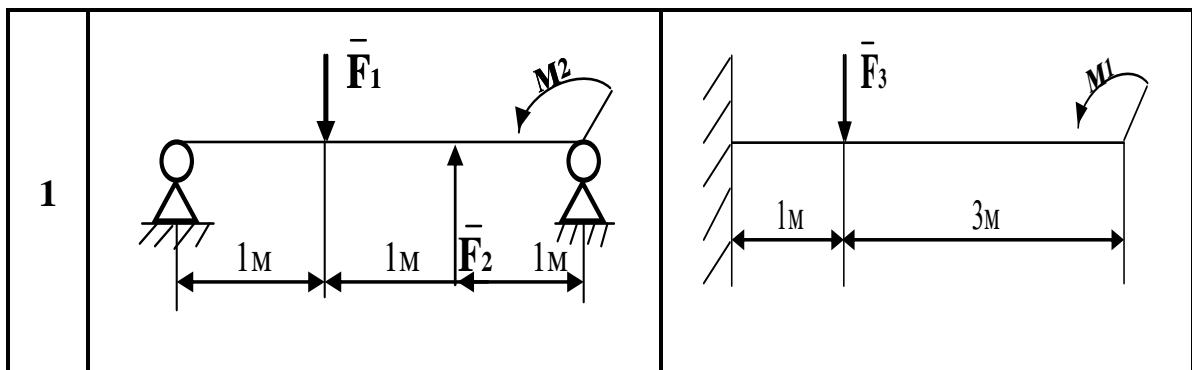
Задание к практической работе: Определить реакции связей балок, нагруженных плоской системой произвольно расположенных сил, приведенных на рисунке 8.

Ход выполнения работы

1. Определить исходные данные для работы, в соответствие 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



2	<p>Diagram of a beam with a pin support at the left end, a roller support at $2M$, and a fixed support at $4M$. A clockwise moment M_1 is applied at $2M$, and a downward force is applied at the right end.</p>	<p>Diagram of a beam with a fixed support at the left end, a roller support at $2M$, and a fixed support at $4M$. A counter-clockwise moment M_2 is applied at the left end, a downward force \bar{F}_3 is at $2M$, and an upward force \bar{F}_2 is at the right end.</p>
3	<p>Diagram of a beam with a fixed support at the left end, a roller support at $1M$, and a fixed support at $3M$. A clockwise moment M_1 is at the left end and a counter-clockwise moment M_2 is at the right end.</p>	<p>Diagram of a beam with a fixed support at the left end and a fixed support at $5M$. An upward force \bar{F}_1 is at $1M$, a downward force \bar{F}_3 is at $3M$, and a downward force \bar{F}_2 is at the right end.</p>
4	<p>Diagram of a beam with a pin support at the left end, a roller support at $1M$, and a fixed support at $4M$. A downward force \bar{F}_1 is at $1M$ and a clockwise moment M_1 is at $3M$.</p>	<p>Diagram of a beam with a fixed support at the left end and a fixed support at $3M$. A counter-clockwise moment M_2 is at the left end, an upward force \bar{F}_3 is at the left end, and a downward force \bar{F}_2 is at $2M$.</p>
5	<p>Diagram of a beam with a fixed support at the left end, a roller support at $1M$, and a fixed support at $5M$. An upward force \bar{F}_1 is at $1M$, an upward force \bar{F}_2 is at $3M$, and a counter-clockwise moment M_2 is at the right end.</p>	<p>Diagram of a beam with a fixed support at the left end and a fixed support at $4M$. A clockwise moment M_1 is at $2M$ and an upward force \bar{F}_3 is at the right end.</p>
6	<p>Diagram of a beam with a pin support at the left end and a fixed support at $4M$. An upward force \bar{F}_1 is at $1M$ and a clockwise moment M_1 is at the right end.</p>	<p>Diagram of a beam with a fixed support at the left end and a fixed support at $5M$. A downward force \bar{F}_2 is at the left end, an upward force \bar{F}_3 is at $2M$, and a counter-clockwise moment M_2 is at $3M$.</p>

7		
8		
9		
10		

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.

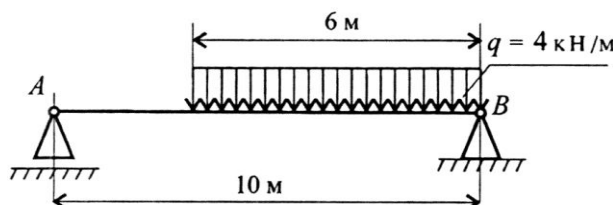
4.Составить уравнения равновесие статики для произвольной системы сил так, чтобы в каждом из уравнений была одна неизвестная реакция связи.

5.Проверить правильность определения реакций опор уравнениями равновесия, которые не использовались для решения задачи.

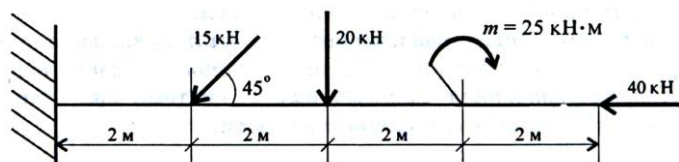
6.Сформулировать вывод по работе.

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 А.



б).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 №4

Название практической работы: Определение реакций опор редукторного вала.

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

Умения (элементы): -применять при анализе механического состояния

понятия и терминологию технической механики;

-анализировать конструкции, заменять реальный объект расчетной схемой;

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

Знания (актуализация):- основные понятия теоретической механики;

-методика выполнения основных расчетов по теоретической механике;

-методика 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.

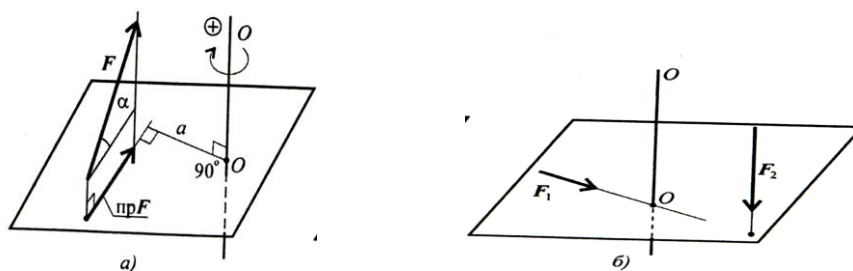


Рисунок 1 - Момент силы относительно оси

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.

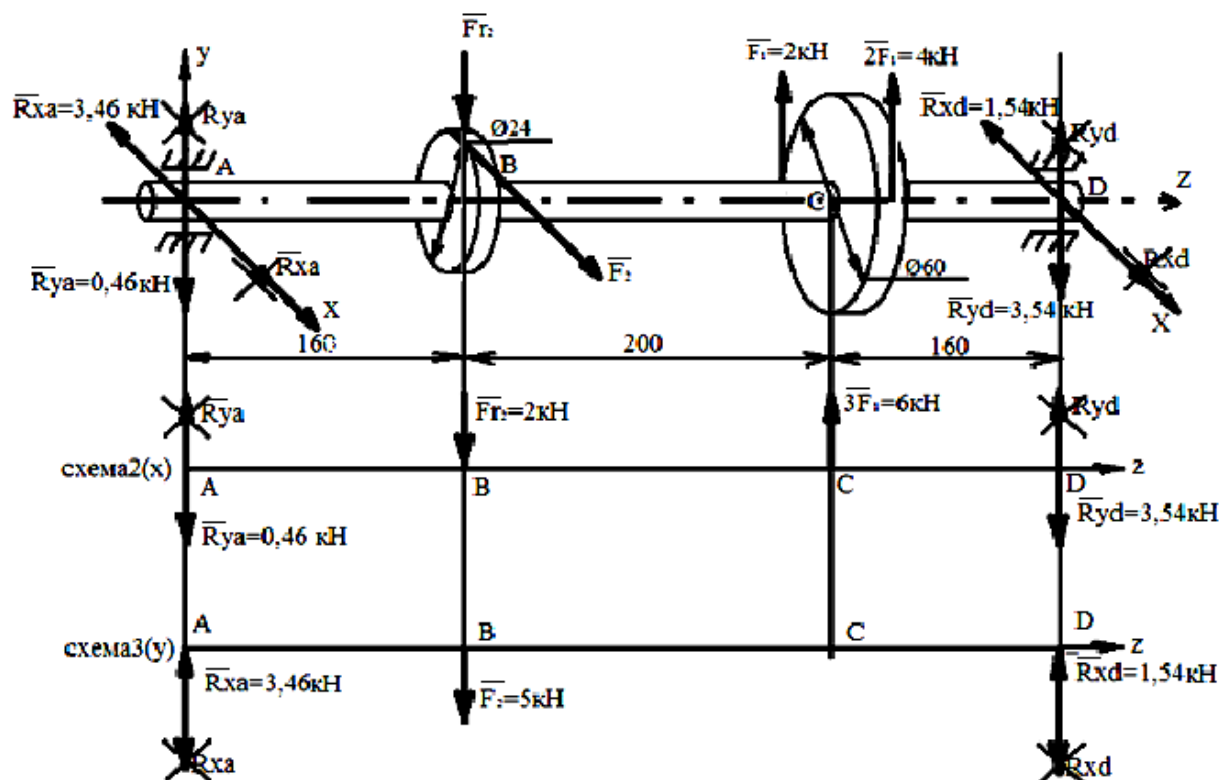


Рисунок 2 - Расчетная схема редукторного вала

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

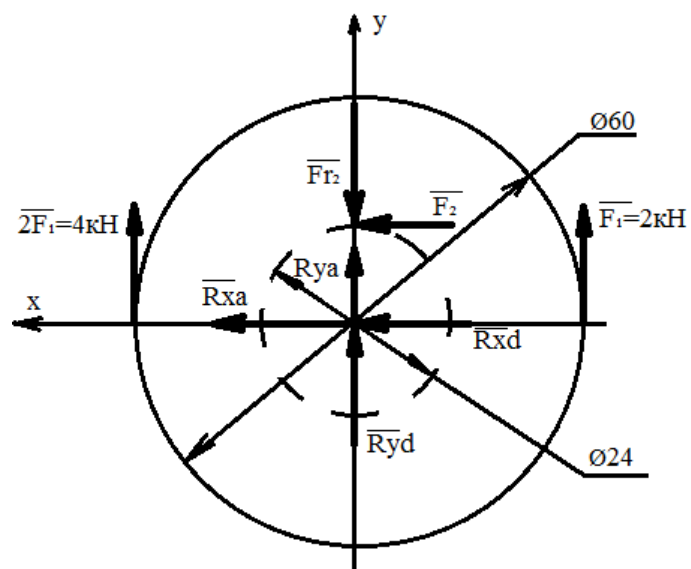


Рисунок 3 - Проекция схемы нагружения в плоскость \perp оси Z

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

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

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

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

2. Спроецируем схему нагружения в плоскость, перпендикулярную оси Х (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 (рисунок 2, схема 3):

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

Реакции R_{xD} , R_{xA} определены верно.

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

Ход выполнения работы.

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

Таблица 1 - Исходные данные к практической работе

№ 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

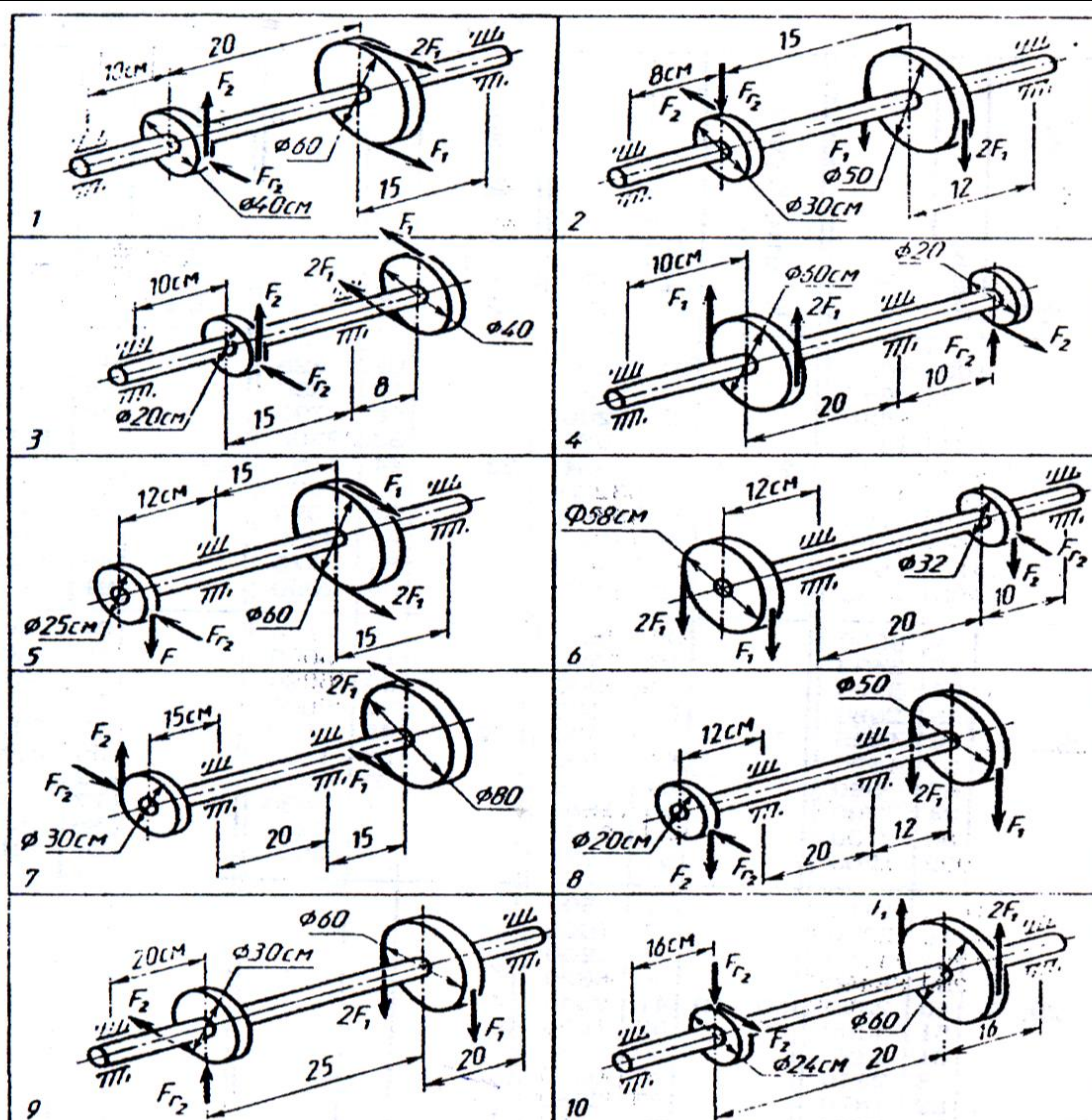


Рисунок 4 - Схемы нагружения к практической работе

2.Выполнить схему нагружения.

3.Выбрать положение прямоугольных систем координат: XZY , $X^I Z Y^I$.

- 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) $M_{г\lambda} = 0; F_{г\lambda} \neq 0;$
 - б) $M_{г\lambda} \neq 0; F_{г\lambda} = 0;$
 - в) $M_{г\lambda} \neq 0; F_{г\lambda} \neq 0.$
 - 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 №5

Название практической работы: Определение центра тяжести составного сечения.

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

Умения (элементы): - проводить несложные расчеты на прочность

Знания(актуализация):- основные понятия теоретической механики;
-методика выполнения основных расчетов по теоретической механике.

Теоретический материал.

Центр тяжести - это нематериальная 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:

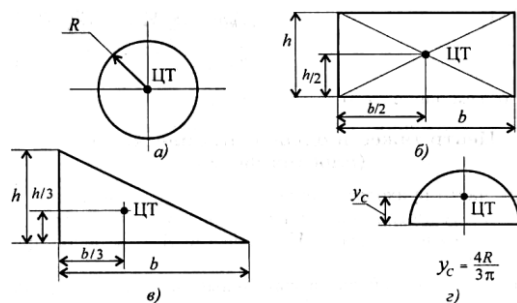


Рисунок 1 - Положение центра тяжести геометрических фигур

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).

Таблица1 - Исходные данные к практической работе

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

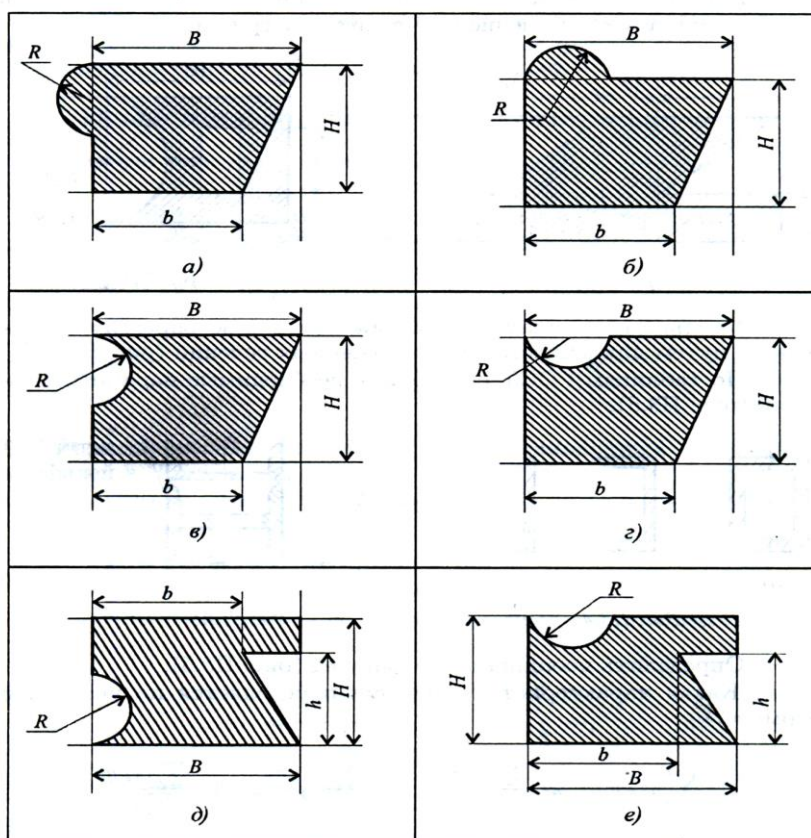


Рисунок 2 - Эскизы плоских фигур

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 № 6.

Название практической работы: Построение эпюр продольных сил и нормальных напряжений.

Цель: освоение методики построения эпюр продольных сил и нормальных напряжений

Умения (элементы): проводить несложные расчеты элементов конструкций на прочность.

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

-методика выполнения элементов конструкций на прочность (продольная сила, формулы для определения продольных сил, нормальных напряжений и правила построения эпюр)

Теоретический материал.

Внешние силы, вызывающие растяжение (сжатие), приложены вдоль продольной оси Z . При работе бруса на растяжение (сжатие) в его поперечном сечении возникает продольная сила N . *Продольная сила в любом поперечном сечении численно равна алгебраической сумме проекций на его продольную ось всех приложенных к оставшейся части внешних сил.*
$$N = \sum F_{i \text{ z ост.ч.}}$$

Правило знаков для N : при растяжении продольная сила положительная, при сжатии – отрицательная.

Эпюра продольных сил – 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.

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. Знак Эσ соответствует знаку ЭN.

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.

Пример: Построить эпюры продольных сил и нормальных напряжений,

1. Определение величины продольных сил на каждом участке:

$$N_1 = 0; \quad N_2 = 30 \text{ кН};$$

$$N_3 = 30 - 38 = -8 \text{ (кН)};$$

$$N_4 = 30 - 38 - 42 = -50 \text{ (кН)}$$

2. Построение ЭN по найденным значениям продольных сил.

3. Определение величины

напряжений на каждом участке и построение Эс.

$$\sigma_1 = \frac{0}{2 \cdot 10^2} = 0;$$

$$\sigma_2 = \frac{30 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^2} = 150 \text{ н / мм}^2$$

$$\sigma_3 = \frac{30 \cdot 10^3}{3 \cdot 10^2} = 100 \text{ н / мм}^2$$

$$\sigma_4 = \frac{-8 \cdot 10^3}{3 \cdot 10^2} = -26,7 \text{ н / мм}^2$$

$$\sigma_5 = \frac{-50 \cdot 10^3}{3 \cdot 10^2} = -167 \text{ н / мм}^2$$

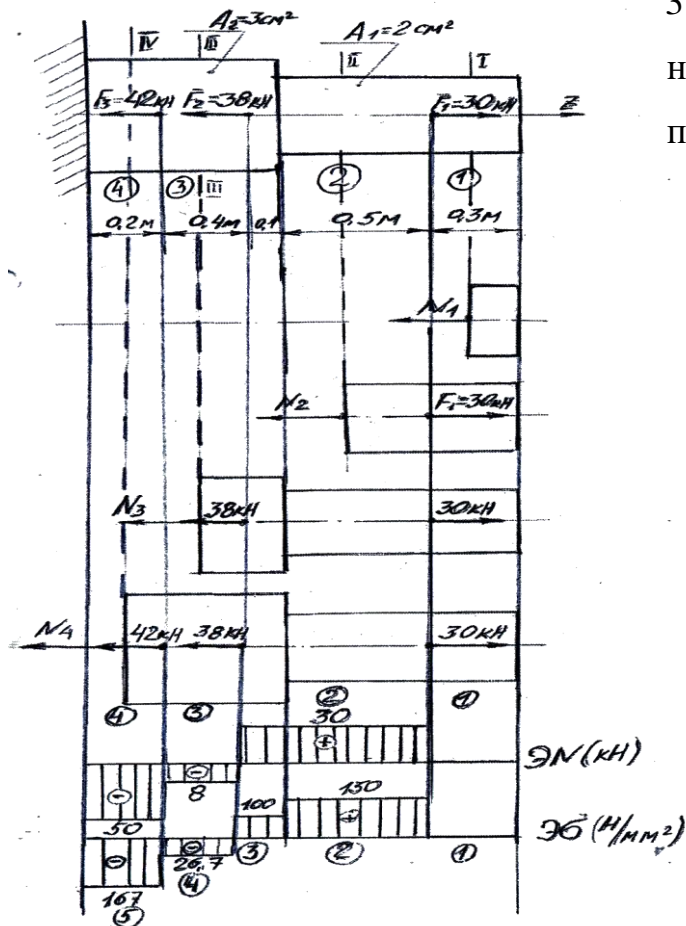


Рисунок 1 - Схема к примеру.

4. Построение эпюры нормальных напряжений

Задание к практической работе: Для заданной схемы нагружения (рисунок2) построить эпюры продольных сил и нормальных напряжений

Ход выполнения работы

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

Таблица 1 - Исходные данные к практической работе

№ вар	Схе-ма	F ₁ , кН	F ₂ , кН	F ₃ , кН	A ₁ , см²	A ₂ , см²	№ вар	Схе-ма	F ₁ , кН	F ₂ , кН	F ₃ , кН	A ₁ , см²	A ₂ , см²
1	а	10	24	2	1	2	14	б	8	13	15		2
2	б	14	13	3	1,4	1,9	15	в	7	4	16	1,4	1,9
3	в	39	23	4	1,9	2,5	16	г	6	8	26	1,9	2,5
4	г	23	15	5	2,5	2,8	17	д	23	45	13	2,5	2,8
5	д	15	24	6	1	2	18	е	14	32	27	1	2
6	е	32	4	7	1,4	1,9	19	а	24	24	28	1,4	1,9
7	а	8	16	8	2,5	2,8	20	б	31	14	24	2,5	2,8

8	б	5	25	9	1,9	2,5	21	в	34	16	23	1,9	2,5
9	в	9	30	10	1	2	22	г	5	24	15	1	2
10	г	12	14	11	1,4	1,9	23	д	16	18	40	1,4	1,9
11	д	45	15	12	1,6	2,2	24	е	17	21	24	1,6	2,2
12	е	24	6	13	2,5	2,8	25	а	24	26	34	2,5	2,8
13	а	23	8	14	1	2	26	б	20	34	32	1	2

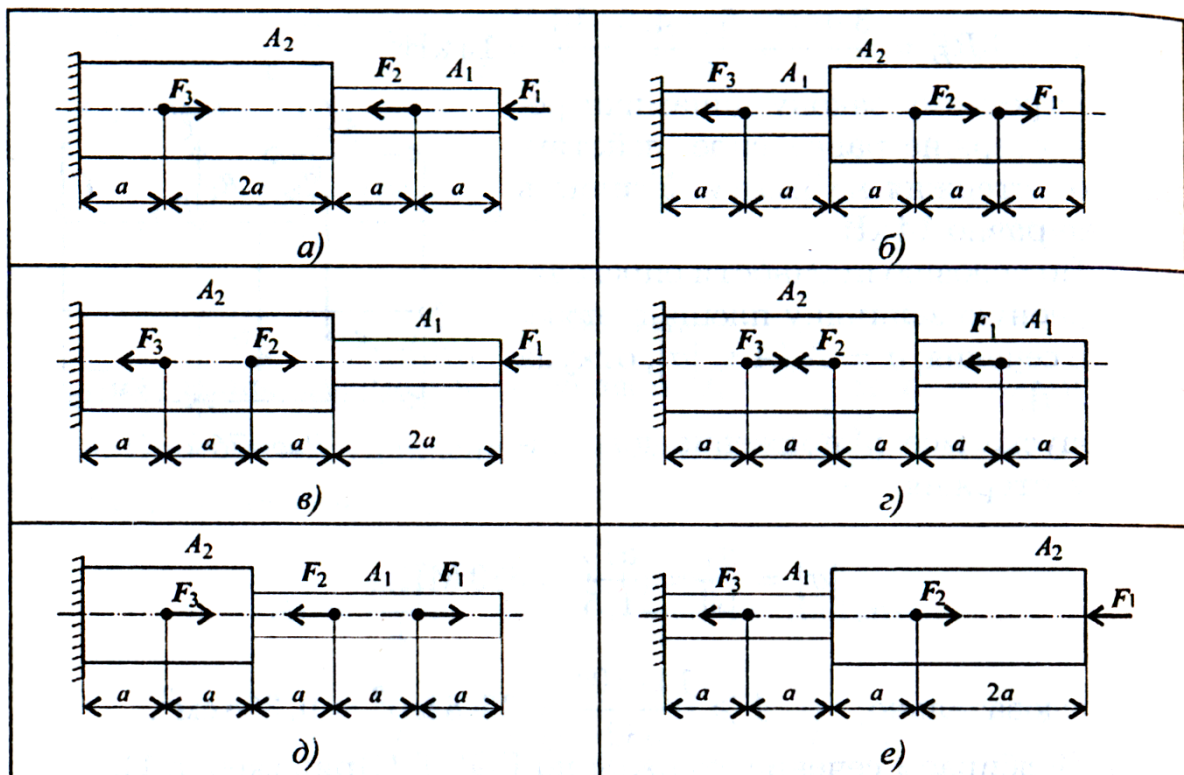


Рисунок 2 - Схемы нагружения бруса

2.Вычертить схему бруса с указанием модулей указанных сил в соответствии с вариантом (рисунок2).

3. Построить эпюру продольных сил:

3.1.разбить базовую линию эпюры на участки с последующей их нумерацией от свободного конца;

3.2.определить величину продольной силы на каждом участке;

3.3.отложить полученные значения ординат и соединить их прямыми линиями, параллельно базовой линии;

4.Построить эпюру нормальных напряжений:

4.1.разбить базовую линию эпюры на участки с последующей их нумерацией от свободного конца;

4.2.определить величину нормальных напряжений на каждом участке;

4.3.отложить полученные значения ординат и соединить их прямыми линиями, параллельно базовой линии.

5.Сформулировать вывод по работе.

6.Ответить на контрольные вопросы.

1).Назовите внутренние силовые факторы (В.С.Ф.), возникающие в поперечном сечении бруса при растяжении.

2).Как определяется величина продольной силы в поперечном сечении?

3.Как определяется величина нормальных напряжений в любом поперечном сечении?

4).Какой линией изображаются эпюры продольных сил и нормальных напряжений?

5).В каких сечениях эпюра нормальных напряжений скачкообразно изменяет свое значение?

6).Как проверить правильность построения эпюры продольных сил?

7).Как определить величину абсолютного удлинения отдельного участка?

Структура отчета по практической работе

1.Номер и название практической работы

2.Цель:

3.Задание к практической работе

4.Схема нагружения.

5.Определение продольных сил на каждом участке и построение эпюры продольных сил.

6.Определение нормальных напряжений на каждом участке и построение эпюры нормальных напряжений.

7.Определение удлинений отдельных участков бруса.

8.Определение удлинения всего бруса.

9. Ответ.

10..Вывод по работе.

11. Ответы на контрольные вопросы.

Практическая работа №7

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:- -применять при анализе механического состояния терминологию технической механики;

-определять характер нагружения и напряженное состояние элемента конструкции;

-проводить несложные расчеты элементов конструкций на прочность и жесткость;

Знания: (актуализация) -методика расчета элементов конструкций на прочность и жесткость при растяжении, сжатии;

-методика основных расчетов по теоретической механике и сопротивлению материалов .

Теоретический материал

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

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

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

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

A – площадь поперечного сечения, мм²,

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

где $\sigma_{\text{пред}}$ –предельное напряжение;

для пластичных материалов $\sigma_{\text{пред}} = \sigma_{\text{T}}$;

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

[S]- требуемый коэффициент запаса прочности

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

Примеры выполнения.

Пример 1.

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

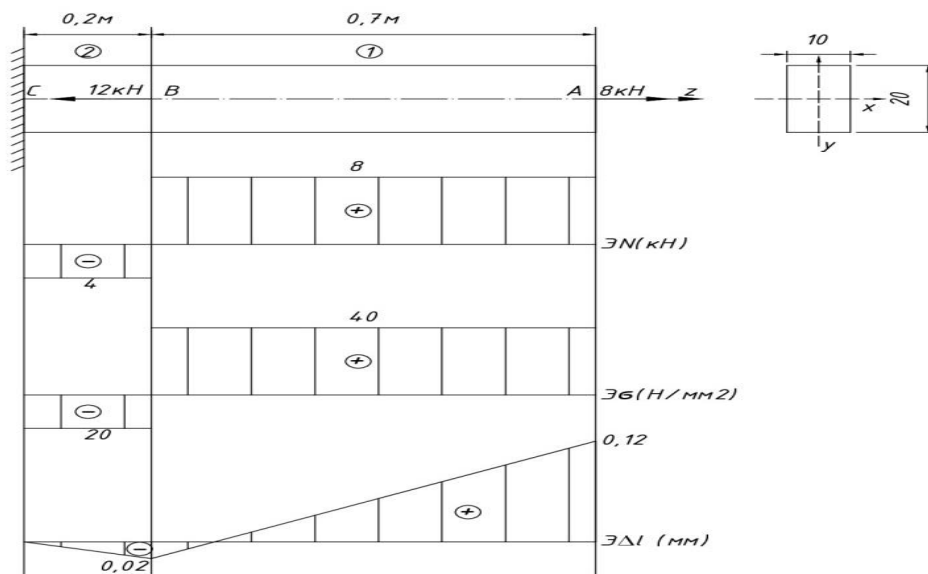


Рисунок 1 – Схема нагружения к примеру1.

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

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

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

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

Задание к практической работе:

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.

Ход выполнения работы

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

Таблица 1 -.Исходные данные к практической работе

№п\п	F ₁ , кН	F ₂ , кН	F ₃ , кН	ℓ ₁ , м	ℓ ₂ , м	a	[Δℓ] мм	σ _т , 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		300	5	круговое кольцо	d=68 d ₀ =58
27	22	19	13	1,0	1,2	1,0					d=60 d ₀ =52

2. Выполнить схему нагружения (рисунок 3).

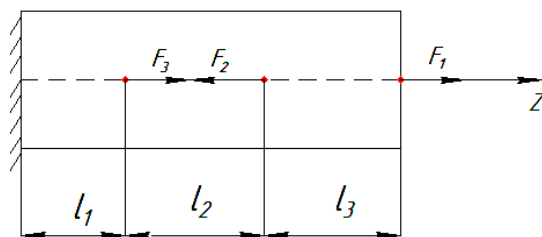


Рисунок 3 - Схема нагружения к заданию

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

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

5. Определить положение наиболее опасного участка.

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

7. Выполнить анализ полученного результата.

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

9. Оценка жесткости бруса.

10. Сформулировать вывод по работе.

11. 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.Условие задачи и исходные данные.
4. Схема нагружения.
5. Определение величины продольной силы на каждом участке и построение эпюры продольных сил.
6. Определение величины нормальных напряжений на каждом участке и построение эпюры нормальных напряжений.
7. Определение положения наиболее опасного участка.
- 8.Запись условия прочности при растяжении, сжатии и проверка его выполнения.
- 9.Проведение анализа полученного результата.
10. Определение абсолютного удлинения отдельных участков .
11. Построение эпюры абсолютного удлинения бруса.
12. Оценка жесткости бруса
- 13.Вывод по работе.
- 14.Ответы на контрольные вопросы.

Практическая работа №8.

Название практической работы: Выполнение расчетов на срез и смятие.

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

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

- проводить несложные расчеты элементов конструкций на прочность;
- использовать справочную и нормативную документацию.

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

-методика выполнения расчетов элементов конструкций на прочность,

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*.

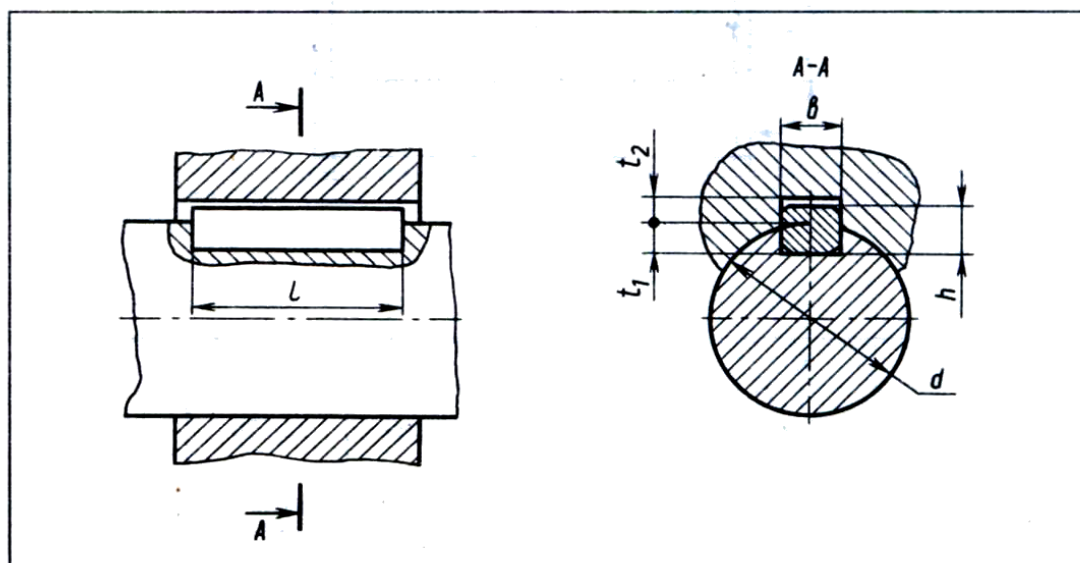
Размеры поперечного сечения шпонки b , h и глубина паза на валу t_1 подбирают по каталогу (таблица 1) по диаметру вала, необходимая длина шпонки l определяется по длине ступицы $l = l_{см} - (5...10)$ мм и уточняется по каталогу (таблица 1), длина ступицы $L_{ст} = 1,5d$. Выбранная шпонка проверяется 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 <i>d</i>	Сечение шпонки		Фаска	Глубина паза		Длина <i>l</i>
	<i>b</i>	<i>h</i>		вала <i>t</i> ₁	ступи- цы <i>t</i> ₂	
Свыше 12 до 17	5	5	0,25...0,4	3	2,3	10...56
» 17 » 22	6	6		3,5	2,8	14...70
» 22 » 30	8	7	0,4...0,6	4	3,3	18...90
» 30 » 38	10	8		5	3,3	22...110
» 38 » 44	12					28...140
» 44 » 50	14	9		5,5	3,8	36...160
» 50 » 58	16	10		6	4,3	45...180
» 58 » 65	18	11		7	4,4	50...200
» 65 » 75	20	12	0,6...0,8	7,5	4,9	56...220
» 75 » 85	22	14		9	5,4	63...250
» 85 » 95	25					70...280

Примечания: 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: $\tau_{cp} = \frac{2M}{d \cdot l \cdot h} \leq [\tau_{cp}]$

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

№ 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 №9.

Название практической работы: Расчет вала на прочность и жесткость при кручении.

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

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

-проводить несложные расчеты элементов конструкций на прочность;

Знания (актуализация): - методика расчета элементов конструкций на прочность, жесткость (условие прочности и жесткости при кручении, способы обеспечения прочности и жесткости)

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. $M_z = \sum m_{i \text{ ост.ч}} \quad (1)$. 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.

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

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

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

W_p – полярный момент сопротивления поперечного сечения, мм³-
геометрическая характеристика прочности поперечного сечения при кручении;

$W_p = 0,1 d^3$ – для круглого поперечного сечения;

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

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

Сущность проверочного расчета элемента конструкции на жесткость при кручении заключается в определении максимального относительного угла закручивания и в сравнении его величины с допускаемым 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, мм⁴-

геометрическая характеристика жесткости поперечного сечения при кручении;

-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 $\alpha = \frac{d_0}{d}$

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 выполнения условий 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

№ 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.

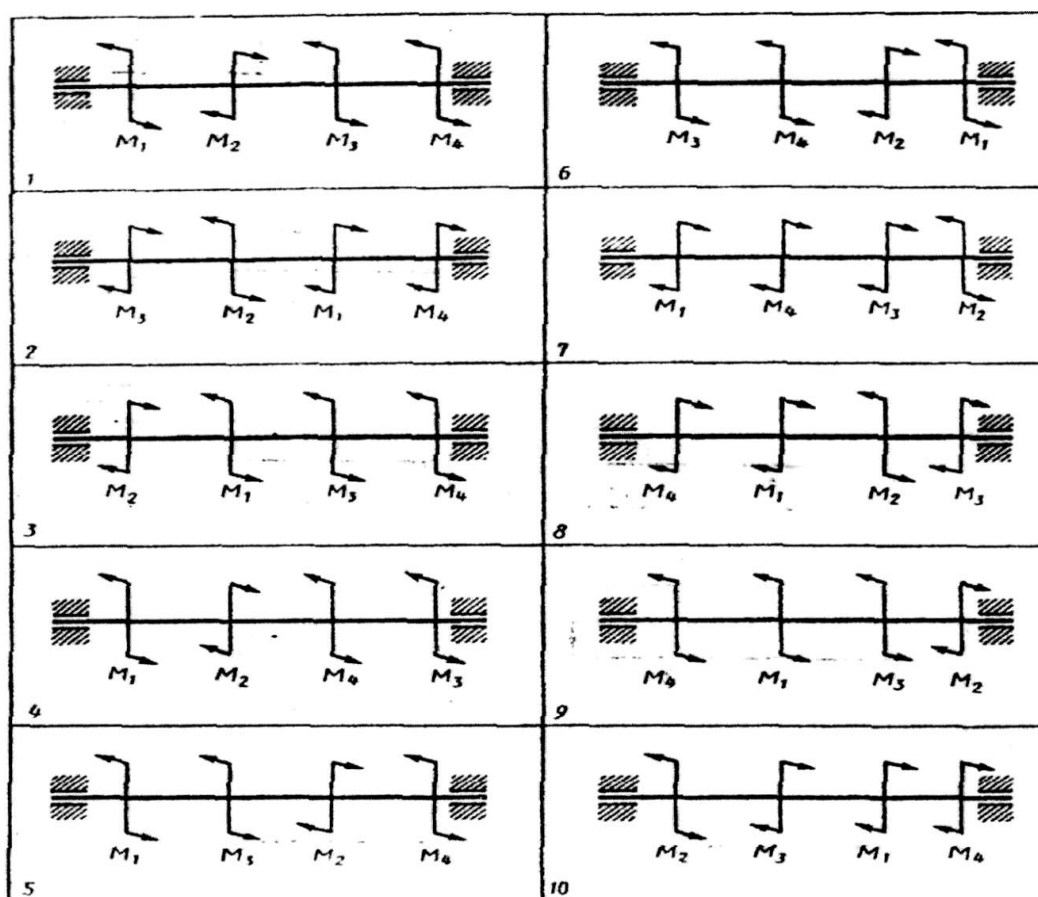


Рисунок 1 - Схемы нагружения к практической работе

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 построить эпюру крутящих моментов 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.

Практическая работа №10.

Название практической работы: Определение осевых моментов инерции составных сечений, имеющих ось симметрии.

Цель: освоение методики расчета осевых моментов составных сечений.

Умения: (элементы) –проводить несложные расчеты элементов конструкций на прочность

Знания: (актуализация) - методика выполнения расчета элементов конструкций на прочность

- методика выполнения основных расчетов по теоретической механике

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 $c = d_{BH}/d$; d_{BH} — внутренний диаметр кольца;

Моменты инерции относительно параллельных осей

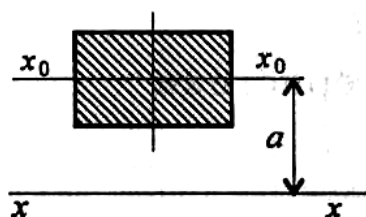


Рисунок 1 - Схема для расчета осевых моментов инерции относительно параллельных осей.

$$J_x = J_{x0} + a^2 \cdot A$$

где J_x — момент инерции относительно оси xx ,

J_{x0} — 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.

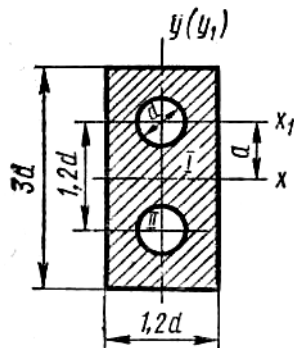


Рисунок 2 - Плоская фигура к примеру.

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

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

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

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

Ось y является центральной для прямоугольника и кругов. Следовательно,

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

Задание к практической работе:

Вычислить центральные осевые моменты инерции сечений, имеющих ось симметрии.

Ход выполнения работы.

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

Таблица 1- Исходные данные к практической работе

№ 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.

№ вар	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
схе- ма	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.

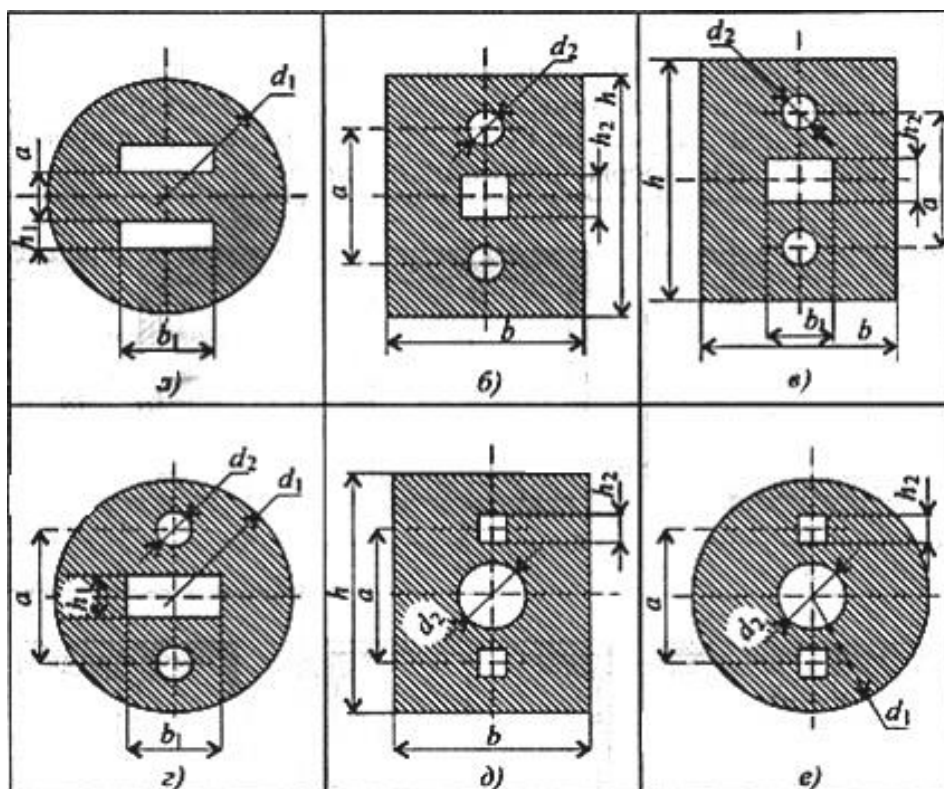


Рисунок 3 - Эскизы плоских фигур к практической работе

3. Разбить фигуру на простейшие геометрические.
4. Указать положение главных центральных осей X, Y .
3. Указать положение осей X, Y в каждой полученной фигуре, указать расстояния от данных осей до соответствующих центральных осей.
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 .
6. Определить осевые моменты инерции каждой фигуры относительно центральной оси Y по соответствующим формулам.
7. Определить осевой момент инерции составной фигуры относительно центральной оси Y .
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 момент 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.
8. Определение осевых моментов инерции каждой фигуры относительно центральной оси Y.
9. Определение осевых моментов инерции составной фигуры относительно центральной оси Y.
10. Вывод по работе.
- 11.Ответы на контрольные вопросы.
- .

Практическое занятие № 11.

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

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

Умения (элементы): -проводить несложные расчеты элементов конструкций на прочность (определение положения наиболее опасного сечения)

Знания (актуализация): методика выполнения расчетов элементов конструкций на прочность

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

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)

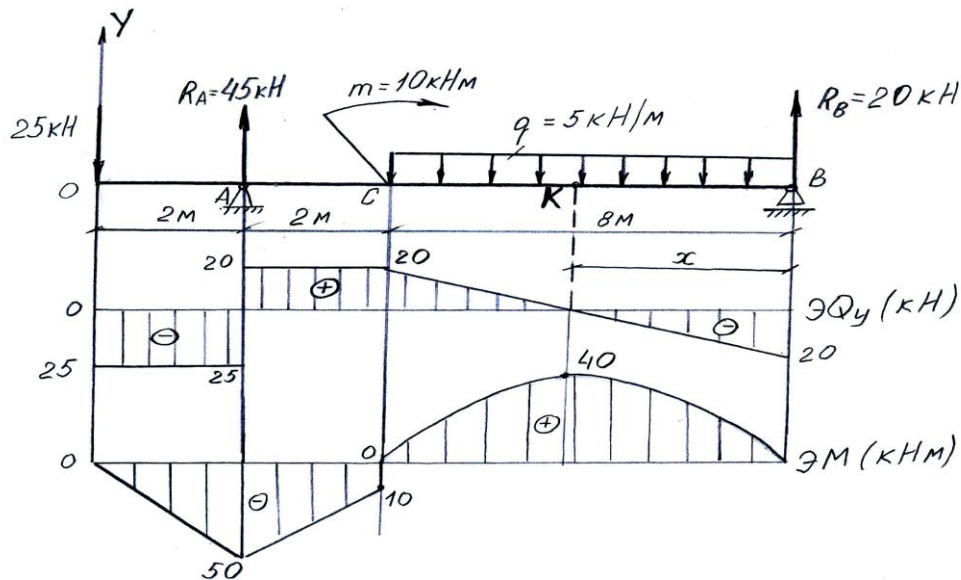


Рисунок 1 - Расчетная схема к примеру.

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 (ЭQy)

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

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

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

$$Q_{yC} = -25 + 45 = 20; Q_{yB} = -20 \text{ (по правилу конечного сечения)}$$

3. Построение эпюры изгибающих моментов (ЭMx)

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

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

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

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

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

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

На участке действия равномерно распределенной нагрузки EQ_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)

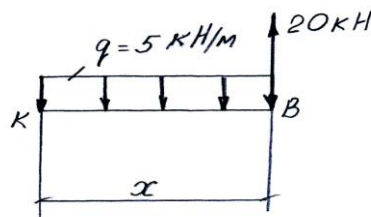


Рисунок 2 - Схема для определения экстремального момента.

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

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.

Ход выполнения работы

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

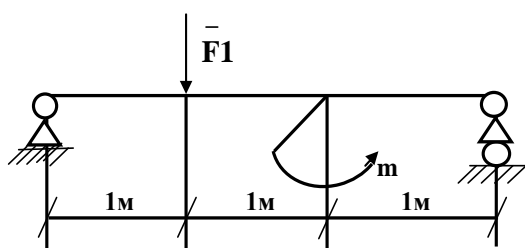
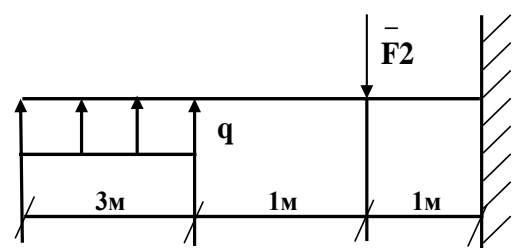
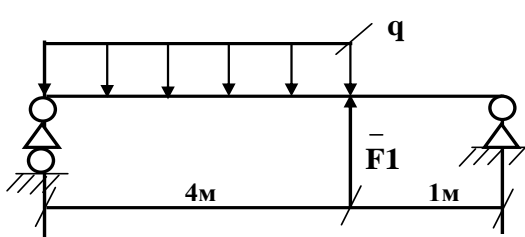
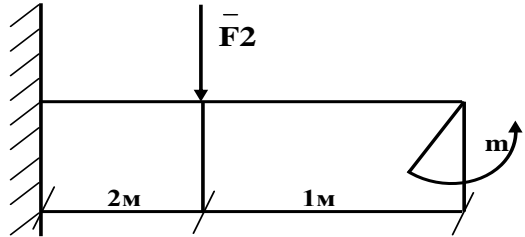
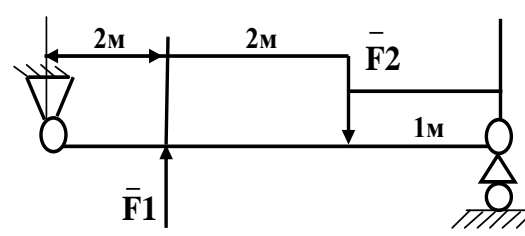
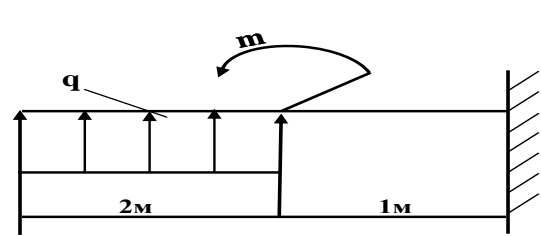
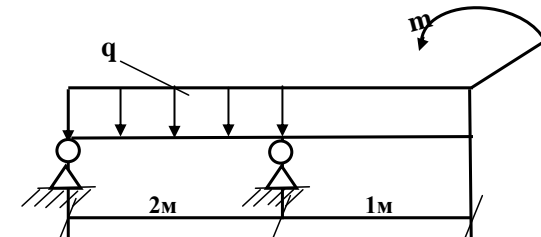
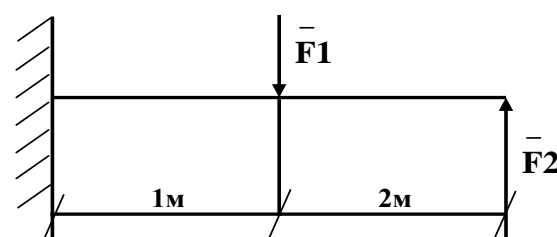
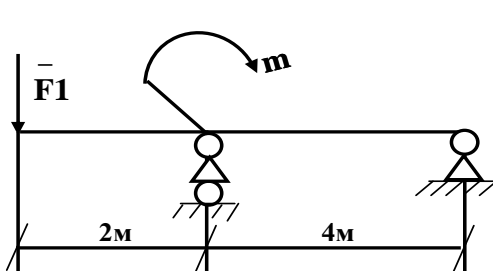
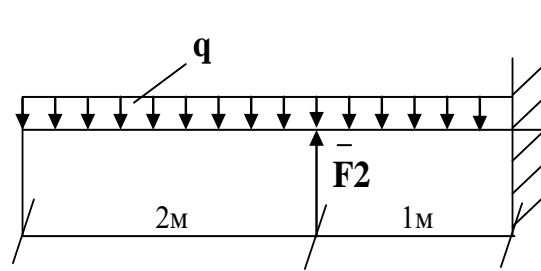
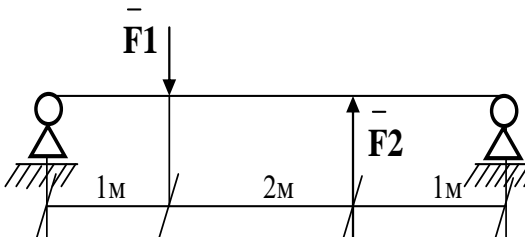
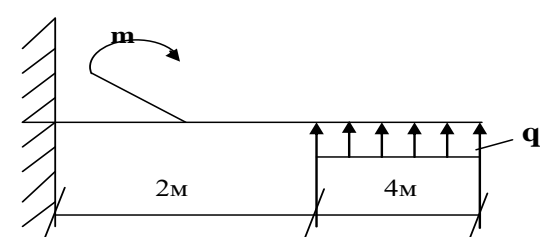
Таблица 1 - Исходные данные к практической работе.

№ 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		

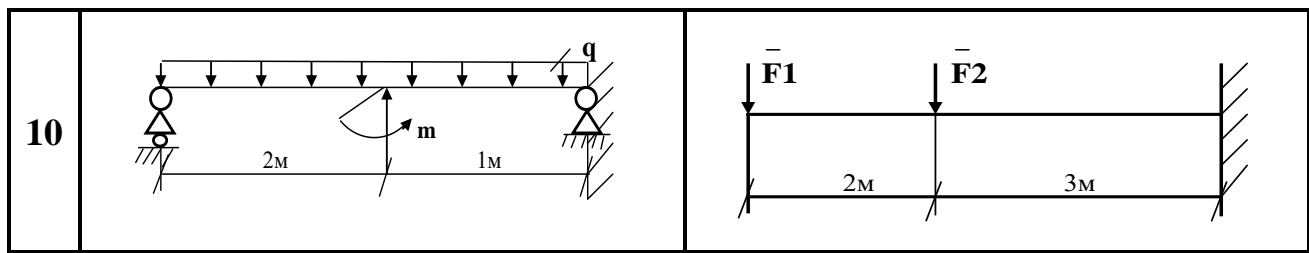


Рисунок 3 - Схемы нагружения к практической работе.

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 ЭМ .

5).С какой целью строятся ЭQ и ЭМ?

Структура отчета по практической работе

1.Номер и название работы

2.Цель:

3.Задача №1.

3.1.Схема нагружения.

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 ЭМ.

3.6. Контроль правильности построенных эпюр.

3.7. Определение положения наиболее опасного сечения.

4. Задача 2.

4.1.Схема нагружения.

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 ЭМ.

4.5. Контроль правильности построенных эпюр.

4.6. Определение положения наиболее опасного сечения.

5. Вывод по работе.

6. Ответы на контрольные вопросы:

Практическая работа №12.

Название практической работы: Расчеты на прочность при изгибе.

Цель: освоение методики прочностных расчетов балок, изготовленных из пластичных материалов.

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

- выделять из системы тел рассматриваемое тело и силы, действующие на него;
- определять характер нагружения и напряженное состояние в точке элемента конструкций;
- проводить несложные расчеты элементов конструкции на прочность

Знания (актуализация): - методика определения статических нагрузок на элементы конструкций,

- методика расчета элементов конструкций на прочность

Теоретический материал

При изгибе расчет на прочность производят по нормальным напряжениям изгиба. Сущность расчета на прочность заключается в определении максимальных напряжений в наиболее опасном сечении и в сравнении их величины с допускаемыми напряжениями:

Условие прочности для пластичных балок

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{x \max}}{W_x} \leq [\sigma]$$

Осевой момент сопротивления W_x для различных сечений- геометрическая характеристика прочности поперечного сечения при изгибе:

-для круга $W_x = 0,1 \cdot d^3$

-для кругового кольца $W_x = 0,1 \cdot d^3(1-\alpha^4)$

-для прямоугольника $W_x = \frac{bh^2}{6}$

На основании условия прочности возможны три вида расчетов:

1. **проверочный** (проверяется обеспечение прочности выполнением условия прочности);
$$\sigma_{\max} = \frac{M_{x \max}}{W_x} \leq [\sigma]$$

2. **проектный** (определяются размеры поперечного сечения)

$$W_x \geq \frac{M_{x \max}}{[\sigma]};$$

3. **определение величины максимально допустимой внешней нагрузки**

$$M_{x \max} \leq W_x \cdot [\sigma]$$

Пример расчета: Проверить прочность двух опорной балки (рисунок 1), если $[\sigma]=160 \text{ н/мм}^2$ для следующих вариантов: а) поперечное сечение: круг $d=90 \text{ мм}$; б) поперечное сечение : прямоугольник $h=80$; $b = 50 \text{ мм}$

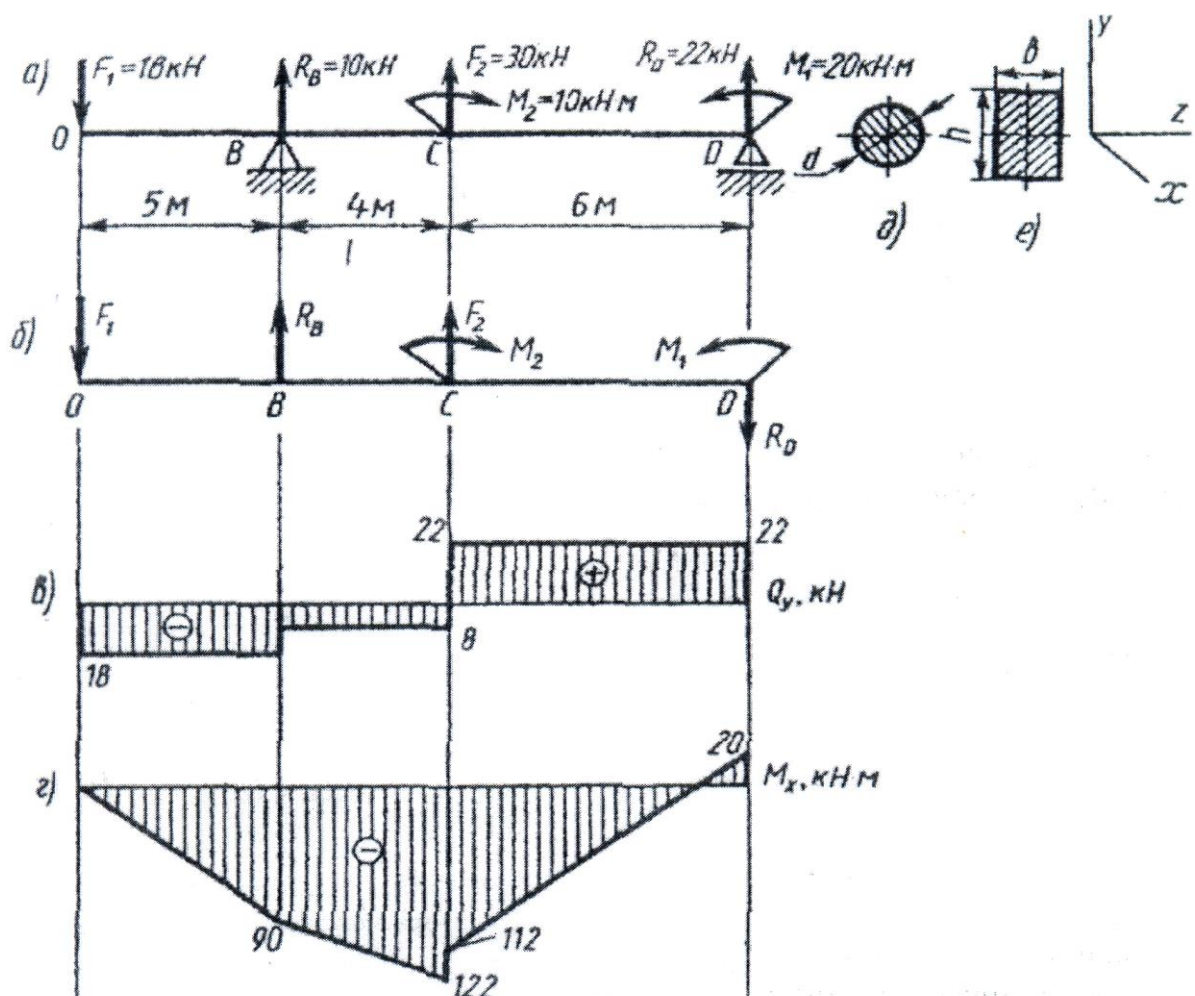


Рисунок 1 - Расчетная схема к примеру.

1. Определение опорных реакции и проверка правильности найденных значений: $\sum M_D = 0; -F_1 \cdot OD + R_B \cdot BD + M_2 + F_2 \cdot CD - M_1 = 0 \quad (1)$

Решая уравнение (1) получим $R_B = 10 \text{ кН}$.

$$\sum M_B = 0; -F_1 \cdot OB - R_D \cdot BD - F_2 \cdot BC + M_2 - M_1 = 0 \quad (2)$$

Из уравнения (2) $R_D = -22 \text{ кН}$

Т.к. реакция R_D получилась со знаком минус, то изменяем ее первоначальное направление на противоположное. Истинное направление реакции R_D — вниз.

Проверка: $\sum F_{iy} = -F_1 + R_B + F_2 - R_D = -18 + 10 + 30 - 22 = 0$.

Уравнение равновесия статики $\sum F_{iy} = 0$ выполняется, следовательно реакции опор определены верно. При построении эпюр используем только истинные направления реакций опор.

2. Выделим на балке характерные точки: О, В, С, Д.

3. Определяем в характерных точках значения поперечной силы Q_y и строим эпюру поперечных сил слева направо: $Q = \sum F_{i \text{ ост.ч.}}$

$$Q_{y0} = -F_1 = -18 \text{ кН};$$

$$Q_{yB}^{\text{слева}} = -18 \text{ кН};$$

$$Q_{yB}^{\text{справа}} = -18 + 10 = -8 \text{ (кН)};$$

$$Q_{yC}^{\text{слева}} = -18 + 10 = -8 \text{ (кН)};$$

$$Q_{yC}^{\text{справа}} = -18 + 10 + 30 = 22 \text{ (кН)};$$

$$Q_{yD}^{\text{слева}} = -18 + 10 + 30 = 22 \text{ (кН)}; \quad Q_{yD}^{\text{справа}} = -18 + 10 + 30 - 22 = 0$$

4. Определяем в характерных точках значения изгибающего момента M_x , и строим эпюру изгибающих моментов слева направо:

$$M_{x0} = 0; \quad M_{xB} = -F_1 \cdot OB = -18 \cdot 5 = -90 \text{ кНм};$$

$$M_{xC}^{\text{справа}} = -F_1 \cdot OC + R_B \cdot BC + M_2 = -18 \cdot 9 + 10 \cdot 4 + 10 = -112 \text{ (кН м)};$$

$$M_{xC}^{\text{слева}} = -F_1 \cdot OC + R_B \cdot BC = -18 \cdot 9 + 10 \cdot 4 = -122 \text{ (кН м)}$$

$$M_{xD}^{\text{слева}} = -F_1 \cdot OD + R_B \cdot BD + M_2 + F_2 \cdot CD = -18 \cdot 15 + 10 \cdot 10 + 10 + 30 \cdot 6 = 20 \text{ (кНм)}$$

$$M_{xD}^{\text{справа}} = -F_1 \cdot OD + R_B \cdot BD + M_2 + F_2 \cdot CD - M_1 = -18 \cdot 15 + 10 \cdot 10 + 10 + 30 \cdot 6 - 20 = 0$$

5. Определяем положение наиболее опасного сечения (анализируя ЭМ_х) :
наиболее опасное сечение В, т.к. М_{хmax} =122 кНм =М_В.

6.Проверка прочности наиболее опасного сечения:

6.1 сечение – прямоугольник с заданным соотношением сторон.

Используя формулу
$$W_x = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{50 \cdot 80^2}{6} = 53333 (\text{мм}^3),$$

проверяем прочность балки по условию прочности:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{x\max}}{W_x} \leq [\sigma];$$

$$\sigma_{\max} = \frac{122 \cdot 10^6}{53333} = 228,0 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$$

Вывод: прочность балки не обеспечена, т. к.

$$\sigma_{\max} = 228,0 \text{ Н/мм}^2 > [\sigma] = 160 \text{ Н/мм}^2$$

6.2. сечение – круг:

Используя формулу $W_x = 0,1 d^3 = 0,1 \cdot 90^3 = 72900 \text{ мм}^3$

Проверяем прочность балки:

$$\sigma_{\max} = \frac{122 \cdot 10^6}{72900} = 267,3 \left(\frac{\text{Н}}{\text{мм}^2} \right)$$

Вывод: прочность не обеспечена, т.к. $\sigma_{\max} = 267,3 \text{ Н/мм}^2 > [\sigma] = 160 \text{ Н/мм}^2$

Задание к практической работе: Проверить прочность стальной балки, если $[\sigma] = 160 \text{ Н/мм}^2$. В случае нарушения прочности предложить возможные варианты обеспечения прочности.

Ход выполнения работы

1. Записать задание, принять исходные данные в соответствии с вариантом по таблице 1.

Таблица 1 - Исходные данные к практической работе

№в ар	Параметры						схема	Поперечное сечение
	м, кНм	F,кН	q, кН/м	a, м	b, м	c, м		
1	15	60	4	0,5	1,5	1,5	А	Круг, d=50мм
2	17	65	5	0,6	1,6	1,7	Б	Кольцо d=70мм d0=60мм

3	19	70	6	0,8	1,8	1,9	В	Прямоугольник h=80мм, b=40мм
4	20	75	7	0,9	1,9	2	Г	Квадрат, a=40мм
5	21	80	8	01	2	2,1	Д	Круг, d=70мм
6	23	85	9	1	1	1,8	Е	Кольцо d=60мм d0= 50мм
7	24	90	10	1,1	2,3	2,7	А	Прямоугольник h= 60мм, b=40мм
8	25	95	11	0,9	2,1	2,5	В	Квадрат a= 50мм
9	26	100	12	0,6	2,5	2,6	Г	Круг, d=60мм
10	28	105	13	0,8	2,3	2,4	Д	Кольцо d=50мм d0=45мм
11	15	28	6	1	1,2	2,5	Е	Прямоугольник h=70мм b=30мм
12	17	29	9	0,8	1,5	2,8	А	Прямоугольник h= 58мм b=30мм
13	19	34	7	0,7	1,6	2,6	Б	Круг, d=60мм
14	20	25	8	0,4	1,5	2,8	В	Кольцо d=75мм d0=65мм
15	21	42	5	0,5	1,6	2,8	Г	Прямоугольник h= 45мм b=25мм
16	23	56	4	0,8	1,7	2,4	Д	Квадрат a=60мм
17	25	45	9	0,6	1:	2	Е	Круг, d=50мм
18	26	36	2	0,8	1,2	2,2	А	Кольцо d=70мм d0=60мм
19	28	35	4	0,5	1,8	2.1	Б	Прямоугольник h= 70мм b=50мм
20	24	64	7	0,6	1,4	2,5	В	Квадрат a=80мм
21	32	85	6	0,5	1,1	2	Г	Круг, d=70мм
22	28	76	10	0,6	1,2	,2.1	Д	Квадрат a=50мм
23	17	45	4	0.7	1,3	2.2	Е	Кольцо d=80мм d0=70мм
24	35	58	5	0,8	1.4	2.3	А	Прямоугольник h= 45мм b=25мм
25	27	98	6	0,9	1.5	2,4	Б	Круг, d=65мм
26	38	68	7	1,0	1,6	2,5	В	Кольцо d= 50мм d0= 40мм
27	34	100	8	0,4	1,7	2,6	Г	Прямоугольник h= 48мм b=25мм

2. Выполнить схему нагружения (рисунок 2) в соответствии с вариантом.

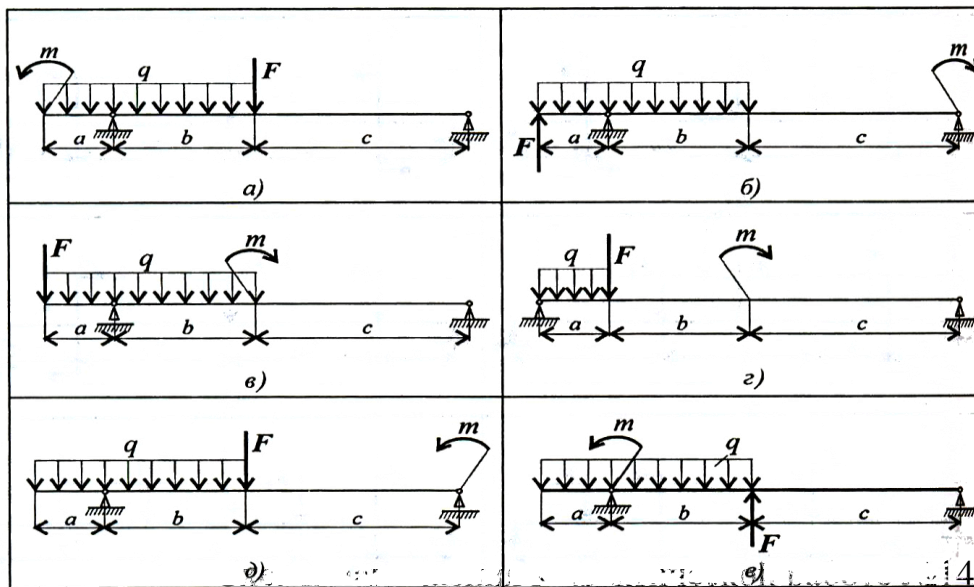


Рисунок 2 - Схемы нагружения к практической работе

3. Связи заменить реакциями связей.
4. Определить реакции связей, составив уравнения равновесия для плоской произвольной системы сил.
5. Выполнить проверку правильности определенных реакций.
6. Определить вид эпюры поперечных сил на каждом участке в зависимости от внешней нагрузки, вычислить величину поперечных сил в характерных точках и построить эпюру поперечных сил.
7. Определить вид эпюры изгибающих моментов на каждом участке в зависимости от внешней нагрузки, вычислить величину изгибающих моментов в характерных точках и построить эпюру изгибающих моментов.
8. Определив положение наиболее опасного сечения (по эпюре изгибающих моментов) выполнить проверочный расчет на прочность.
9. Проанализировать полученный результат.
10. Предложить варианты обеспечения прочности (при необходимости).
11. Сформулировать вывод по работе
12. Ответить на контрольные вопросы:

- 1). Какие внутренние силовые факторы возникают в поперечном сечении при поперечном изгибе?
- 2). Записать формулы для определения поперечной силы и изгибающего момента в любом поперечном сечении
- 3). Как определить величину поперечной силы и изгибающего момента в концевом сечении?
- 4). Сформулируйте сущность проверочного и проектного расчетов на прочность при изгибе?
- 5). Запишите условие прочности при изгибе.
- 6). Укажите возможные варианты обеспечения прочности элементов конструкций.

Структура отчета по практической работе.

1. Номер и название практической работы.
2. Цель:
3. Схема нагружения.
4. Исходные данные.
5. Определение реакций связей.
6. Проверка правильности определенных реакций.
7. Определение величины поперечных сил в характерных точках и построение эпюры поперечных сил.
8. Определение величины изгибающих моментов в характерных точках и построение эпюры изгибающих моментов.
9. Определение положения наиболее опасного сечения.
10. Выполнение проверочного расчета балки на прочность.
11. Анализ полученного результата.
12. Вывод по работе.
13. Ответы на контрольные вопросы.

Практическая работа №13.

Название практической работы: Расчет бруса круглого поперечного сечения при совместном действии изгиба и кручения.

Цель: освоение методики расчета элементов конструкции при сложном виде нагружения.

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

- определять характер нагружения и напряженное состояние в точке элемента конструкций;

- проводить несложные расчеты элементов конструкции на прочность

Знания: (актуализация): - методика определения статических нагрузок на элементы конструкций,

- методика расчета элементов конструкций на прочность

Теоретический материал.

В случае расчета круглого бруса при действии изгиба и кручения необходимо учитывать нормальные и касательные напряжения, т. к. максимальные значения напряжений в обоих случаях возникают на поверхности. Расчет следует вести по теории прочности, заменяя сложное напряженное состояние равноопасным простым по одной из гипотез прочности.

Условие прочности в этом случае имеет вид

$$\sigma_{\text{экв}} = \frac{M_{\text{экв}}}{W_x} \leq [\sigma]$$

где $M_{\text{экв}}$ —эквивалентный момент.

По гипотезе наибольших касательных напряжений (иначе—третья гипотеза)

$$M_{\text{эквIII}} = \sqrt{(M_u^2 + M_K^2)}$$

По гипотезе потенциальной энергии формоизменения (иначе — пятая гипотеза)

$$M_{\text{эквV}} = \sqrt{(M_u^2 + 0,75M_K^2)}$$

В обеих формулах M_k и M_u — соответственно крутящий и суммарный изгибающий моменты в рассматриваемом сечении вала. Числовое значение суммарного изгибающего момента равно геометрической сумме изгибающих моментов, возникающих в наиболее опасном сечении от вертикально и горизонтально действующих внешних сил, т. е.

$$M_u = \sqrt{(M_x^2 + M_y^2)} \quad M_{\text{эквIII}} = \sqrt{(M_x^2 + M_y^2 + M_z^2)};$$

$$M_{\text{эквV}} = \sqrt{(M_x^2 + M_y^2 + 0,75 \cdot M_z^2)}$$

Осевой момент сопротивления, являясь геометрической характеристикой прочности, зависит от формы и размеров поперечного сечения:

а) для круглого поперечного сечения

$$W_x = 0,1 \cdot d^3;$$

в) для кольцевого поперечного сечения

$$W_x = 0,1 \cdot d^3 \cdot (1 - \alpha^4)$$

Пример: Стальной вал постоянного поперечного сечения, диаметром $d=60\text{мм}$, с двумя зубчатыми колесами (рис. 1), передает мощность $P=15\text{кВт}$ при угловой скорости $\omega=30\text{рад/с}$. Проверить прочность вала по двум вариантам: а) используя третью гипотезу прочности; б) используя пятую гипотезу прочности. Сделать вывод о рациональности назначенного размера поперечного сечения, приняв: $[\sigma] = 160\text{ МПа}$; $F_{r1}=0,4F_1$; $F_{r2}=0,4F_2$.

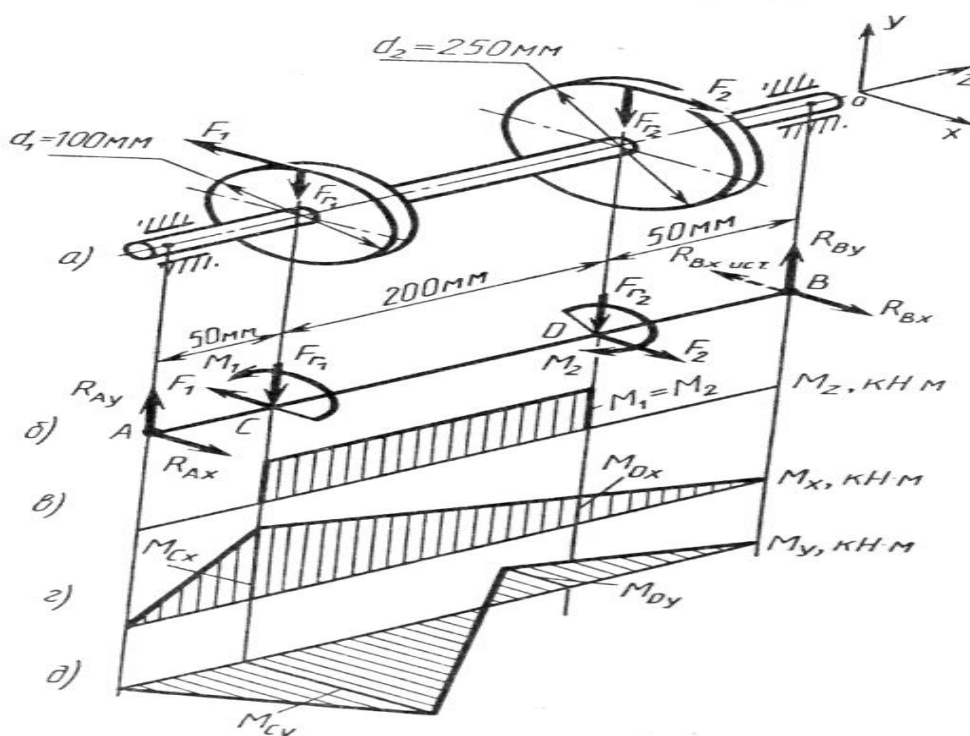


Рисунок 1 - Расчетная схема к примеру.

Решение.

1. Составляем расчетную схему вала, приводя действующие на вал нагрузки к оси (рис. 1,б). При равномерном вращении вала $M_1 = M_2$, где M_1 и M_2 - моменты скручивающих пар, которые добавляются при переносе сил F_1 и F_2 на ось вала.

2. Определяем вращающий момент, действующий на вал:

$$M_1 = M_2 = \frac{P}{\omega} = \frac{15 \cdot 10^3}{30} = 0,5 \cdot 10^3 (\text{Нм})$$

3. Вычислим нагрузки, приложенные к валу:

$$F_1 = \frac{2M_1}{d_1} = \frac{2 \cdot 0,5 \cdot 10^3}{0,1} = 10^4 (H) = 10 \kappa H;$$

$$F_{r1} = 0,4 F_1 = 0,4 \cdot 10 = 4 (\kappa H);$$

$$F_2 = \frac{2M_2}{d_2} = \frac{2 \cdot 0,5 \cdot 10^3}{0,25} = 4 (\kappa H);$$

$$F_{r2} = 0,4 F_2 = 0,4 \cdot 4 = 1,6 (\kappa H)$$

4. Определяем реакции опор в вертикальной плоскости (рис.1б) :

$$\Sigma M_A = 0; F_{r1} \cdot AC + F_{r2} \cdot AD - R_{By} \cdot AB = 0;$$

$$R_{By} = \frac{F_{r1} \cdot AC + F_{r2} \cdot AD}{AB} = \frac{4 \cdot 0,05 + 1,6 \cdot 0,25}{0,3} = 2 (\kappa H);$$

$$\Sigma M_B = 0; R_{Ay} \cdot AB - F_{r1} \cdot BC - F_{r2} \cdot DB = 0;$$

$$R_{Ay} = \frac{F_{r1} \cdot BC + F_{r2} \cdot DB}{AB} = \frac{4 \cdot 0,25 + 1,6 \cdot 0,05}{0,3} = 3,6 (\kappa H);$$

$$\Sigma F_{iy} = R_{Ay} - F_{r1} - F_{r2} + R_{by} = 3,6 - 4 - 1,6 + 2 = 0.$$

$\Sigma Y = 0$, следовательно, R_{Ay} и R_{By} найдены правильно.

5. Определяем реакции опор в горизонтальной плоскости (рис. 1б)

$$\Sigma M_A = 0; F_1 \cdot AC - F_2 \cdot AD - R_{Bx} \cdot AB = 0;$$

$$R_{Bx} = \frac{F_1 \cdot AC - F_2 \cdot AD}{AB} = \frac{10 \cdot 0,05 - 4 \cdot 0,25}{0,3} = -1,66 (\kappa H)$$

Знак минус указывает, на то, что истинное направление реакции противоположно выбранному (рис.1, б):

$$\Sigma M_B = 0; R_{Ax} \cdot AB - F_1 \cdot BC + F_2 \cdot DB = 0;$$

$$R_{Ax} = \frac{F_1 \cdot BC - F_2 \cdot DB}{AB} = \frac{10 \cdot 0,25 - 4 \cdot 0,05}{0,3} = 7,66 (\kappa H);$$

$$\Sigma X = 0; R_{Ax} - F_1 + F_2 - R_{Bx} = 7,66 - 10 + 4 - 1,66 = 0.$$

$\Sigma X = 0$, следовательно, R_{Ax} , и R_{Bx} , найдены верно.

7. Строим эпюру крутящих моментов M_z (рис. 1, в).

$$M_z = M_1 = 0,5 \kappa H м$$

8. Определяем в характерных сечениях значения изгибающих моментов M_x в вертикальной плоскости и M_y в горизонтальной плоскости и строим эпюры $\Sigma M_x, \Sigma M_y$ (рис.1г,д):

$$M_{Cx} = R_{Ay} \cdot AD = 3,6 \cdot 0,005 = 0,18 \kappa H м;$$

$$M_{Dx} = R_{Ay} \cdot AD - F_{r1} \cdot CD = 3,6 \cdot 0,25 - 4 \cdot 0,2 = 0,1 \kappa H м;$$

$$M_{Cy} = R_{Ax} \cdot AC = 7,66 \cdot 0,05 = 0,383 \text{ кНм};$$

$$M_{Dy} = R_{Ax} \cdot AD - F_I \cdot CD = 7,66 \cdot 0,25 - 10 \cdot 0,2 = -0,085 \text{ кНм};$$

9. Вычисляем значение изгибающих моментов в предполагаемых опасных сечениях С и Д:

$$M_{IC} = \sqrt{(M^2_{xС} + M^2_{yС})} = \sqrt{(0,18^2 + 0,383^2)} = 0,423 (\text{кНм});$$

$$M_{ID} = \sqrt{(M^2_{xD} + M^2_{yD})} = \sqrt{(0,1^2 + 0,085^2)} = 0,13 (\text{кНм})$$

Так как в данном примере значение суммарного изгибающего момента в сечении С больше, чем в сечении D, то сечение С и является опасным.

10. Определяем эквивалентный момент в сечении С.

Вариант а) по гипотезе максимальных касательных напряжений

$$M_{экв III} = \sqrt{(M^2_{xС} + M^2_{yС} + M^2_{zС})} = \sqrt{(0,18^2 + 0,383^2 + 0,5^2)} = 0,655 (\text{кНм})$$

Вариант б) по гипотезе удельной энергии формоизменения

$$M_{экв IV} = \sqrt{(M^2_{xС} + M^2_{yС} + 0,75 M^2_{zС})} = \sqrt{(0,18^2 + 0,383^2 + 0,75 \cdot 0,5^2)} = 0,605 (\text{кНм})$$

11. Определяем осевой момент сопротивления поперечного сечения

$$W_x = 0,1 d^3 = 0,1 \cdot 60^3 = 21600 (\text{мм}^3)$$

12. Проверяем прочность вала: по варианту а)

$$\sigma_{экв III} = \frac{M_{экв III}}{W_x} \leq [\sigma];$$

$$\sigma_{экв III} = \frac{0,655 \cdot 10^6}{21600} = 30,24 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2} = 30,24 \text{ МПа} < [\sigma] = 160 \text{ МПа}$$

Вывод: прочность вала обеспечена, но диаметр вала завышен, т.к. имеет место большая недогрузка.

по варианту б)

$$\sigma_{экв IV} = \frac{M_{экв IV}}{W_x} \leq [\sigma];$$

$$\sigma_{экв IV} = \frac{0,605 \cdot 10^6}{21600} = 28 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2} = 28 \text{ МПа} < [\sigma] = 160 \text{ МПа}$$

Вывод: прочность вала обеспечена, но диаметр вала завышен, т.к. имеет место большая недогрузка.

Задание к практической работе

Для стального вала постоянного поперечного сечения (рисунок 2), диаметром d , передающего мощность P при угловой скорости ω определить реакции подшипников в вертикальной и горизонтальной плоскостях, построить эпюры крутящих и изгибающих моментов в вертикальной и горизонтальной плоскостях, проверить прочность вала, приняв $[\sigma] = 60 \text{ МПа}$ (используя гипотезу максимальных касательных напряжений для вариантов 1-15; гипотезу удельной энергии формоизменения для вариантов 16-30).

Ход выполнения работы.

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

Таблица 1 - Исходные данные к практической работе

№ схемы	вариант	P кВт	ω рад/с	dвала, мм	№ схемы	вариант	P кВт	ω рад/с	dвала, мм
1	1	6	22	25	6	16	3	25	28
2	2	8	36	28	7	17	8	48	50
3	3	10	40	30	8	18	10	50	55
4	4	9	30	34	9	19	12	40	45
5	5	3	45	38	10	20	22	24	34
6	6	20	50	40	1	21	20	60	65
7	7	12	68	45	2	22	20	22	28
8	8	5	20	48	3	23	9	36	34
9	9	3	50	50	4	24	8	42	40
10	10	12	48	45	5	25	15	35	36
1	11	10	30	45	6	26	5	40	25
2	12	20	80	65	7	27	6	36	28
3	13	15	45	40	8	28	7	35	25
4	14	12	38	35	9	29	12	24	30
5	15	14	18	28	10	30	15	15	25

2. Выполнить схему нагружения в соответствии с вариантом (таблица 1, рисунок 2)

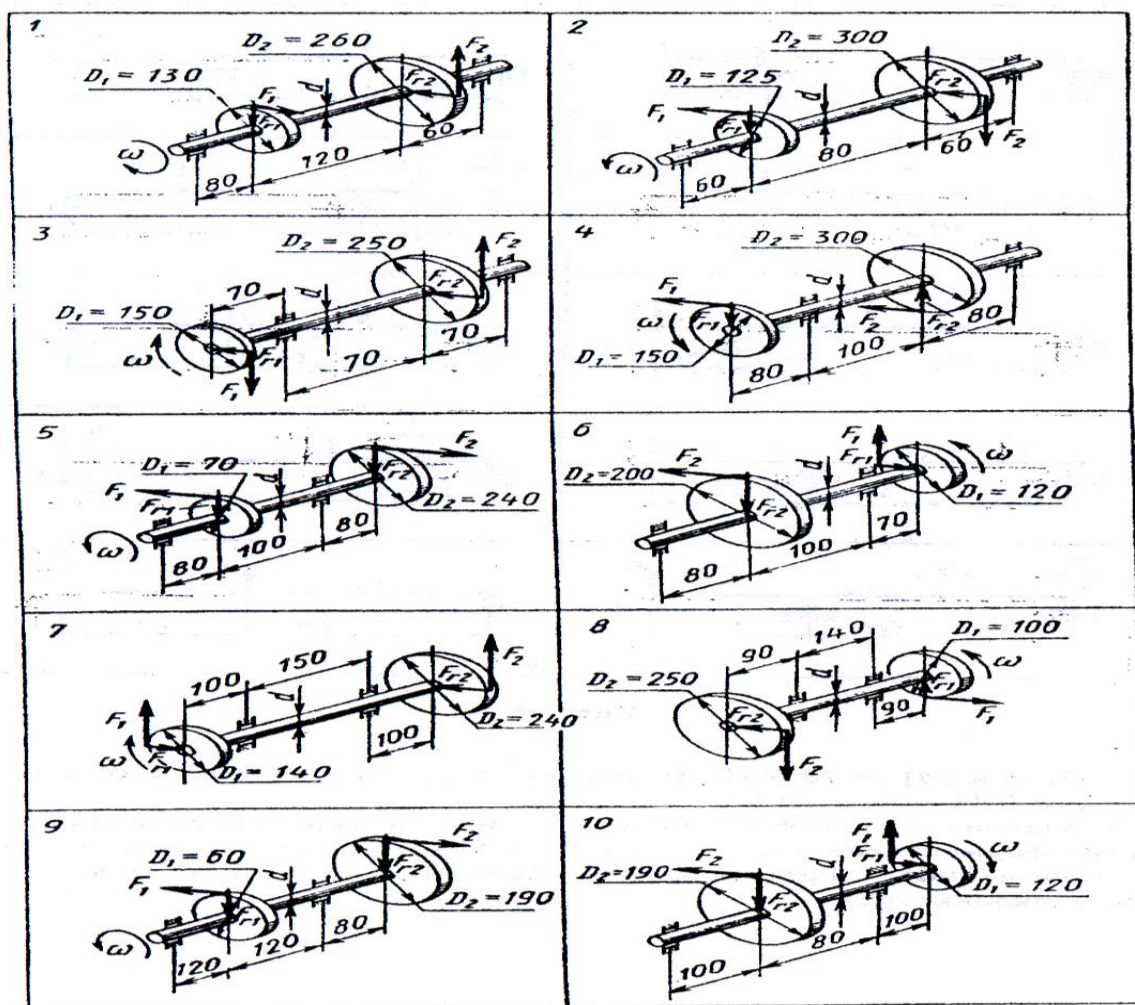


Рисунок 2 - Схемы нагружения к практической работе №15.

3. Привести действующие на вал нагрузки к его оси, освободить вал от опор, заменив их действие реакциями в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

4. По заданной мощности P и угловой скорости ω определить вращающие моменты, действующие на вал $M = \frac{P \cdot 10^3}{\omega}, \text{ Нм}$

5. Вычислить нагрузки F_1, F_{r1}, F_2, F_{r2} , приложенные к валу:

$$F_1 = \frac{2M}{D_1}; \quad F_2 = \frac{2M}{D_2}; \quad F_{r1} = 0,4 \cdot F_1; \quad F_{r2} = 0,4 \cdot F_2$$

6. Составить уравнения равновесия всех сил, действующих на вал, отдельно в вертикальной плоскости и отдельно в горизонтальной плоскости и определить реакции опор в обеих плоскостях

7. Построить эпюру крутящих моментов \mathcal{M}_z .

8. Построить эпюры изгибающих моментов в вертикальной и горизонтальной плоскостях (эпюры \mathcal{M}_x и \mathcal{M}_y).

9. Определить наибольшее значение эквивалентного момента в наиболее опасном сечении по одной из гипотез прочности:

10. Определить осевой момент сопротивления:

11. Проверить прочность вала для наиболее опасного сечения по одной из гипотез прочности, используя условие прочности при изгибе .

12. Сформулировать вывод по работе.

13. Ответить на контрольные вопросы:

1). Какие виды нагружения испытывает рассмотренный вал?

2). Укажите силы на схеме нагружения вызывающие кручение? изгиб?

3). Назовите гипотезы прочности, которые могут быть использованы для расчета редукторного вала круглого поперечного сечения.

4). Запишите условия прочности для расчета элементов конструкции на совместное действия изгиба и кручения.

Структура отчета по практической работе.

1. Номер и название работы.

2. Цель:

3. Задание к практической работе.

4. Схема нагружения.

5. Приведение действующих на вал нагрузок к его оси, освобождение вала от опор, заменив их действие реакциями в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

6. Определение вращающих моментов, действующие на вал.

7. Вычисление нагрузок F_l , F_{rl} , F_2 , F_{r2} , приложенных к валу:

8. Составление уравнений равновесия всех сил, действующих на вал, отдельно в вертикальной плоскости и отдельно в горизонтальной плоскости и определение реакций опор в обеих плоскостях
9. Построение эпюры крутящих моментов \mathcal{M}_z .
10. Построение эпюры изгибающих моментов в вертикальной и горизонтальной плоскостях (эпюры \mathcal{M}_x и \mathcal{M}_y).
11. Определение наибольшего значения эквивалентного момента в наиболее опасном сечении
12. Определение осевого момента сопротивления:
13. Проверка прочности вала для наиболее опасного сечения по одной из гипотез прочности, используя условие прочности при совместном действии изгиба и кручения.
14. Вывод по работе.
15. Ответы на контрольные вопросы.

Практическая работа №14.

Название практической работы: Расчет многоступенчатого привода.

Цель: освоение методики кинематического и силового расчета многоступенчатого привода.

Умения: -читать кинематические схемы;

-использовать справочную и нормативную документацию

- выбирать детали и узлы на основе анализа их свойств для конкретного применения.

Знания(актуализация):- методика выполнения основных расчетов по деталям машин;

-методика определения кинематических и динамических характеристик механизмов и машин (условные обозначения, используемые в кинематических схемах; формулы для определения передаточных отношений, КПД,

мощности, вращающих моментов отдельных элементов и всего привода в целом).

Теоретический материал

Большинство современных машин создаются по схеме:

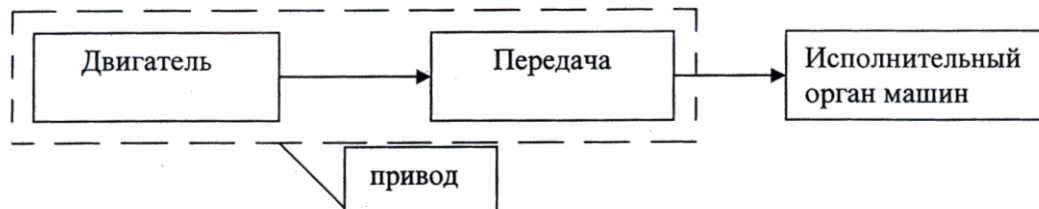


Рисунок 1- Схема привода в общем виде.

Механическая передача – механизм, служащий для передачи энергии на расстояние. Функции передачи: согласование скоростей исполнительных органов со скоростью двигателя; регулирование и реверсирование скорости исполнительного механизма, преобразование вращательного движения двигателя в поступательное движение исполнительного органа машины, приведение в движение нескольких исполнительных механизмов одновременно от одного двигателя. В каждой передаче различают ведущее звено (передающее движение) и ведомое (приводимое в движение от ведущего). Передача, состоящая из нескольких пар ведущего и ведомого звеньев, называется многоступенчатой.

Механическая передача имеет ряд кинематических и силовых характеристик

К кинематическим характеристикам механической передачи относятся:

- угловая скорость ω , с^{-1} ;
- частота вращения n , мин^{-1} ;
- окружная скорость V , м/с ;
- передаточное отношение u .

Передаточное отношение – безразмерная величина, показывающее во сколько раз передача изменяет скорость вращения

$$u = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

Передача, понижающая скорость ($u > 1$), называется редуктором. Для многоступенчатой передачи

$$u = u_1 \cdot u_2 \cdot \dots \cdot u_n$$

где $u_1 \dots, u_n$ – передаточные отношения отдельных ступеней.

К динамическим характеристикам относятся:

- мощность P , Вт

$$P = M \cdot \omega$$

- вращающий момент M , Нм

$$M = P / \omega$$

- коэффициент полезного действия, $\eta \equiv \frac{P_{\text{полез.}}}{P_{\text{затрач}}}$

КПД многоступенчатой передачи

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \dots \cdot \eta_n$$

где $\eta_1 \dots, \eta_n$ - КПД каждой кинематической пары (зубчатой, ременной, цепной) а также других звеньев привода (подшипников, муфты) и т. д.

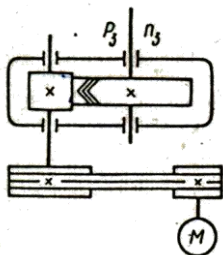
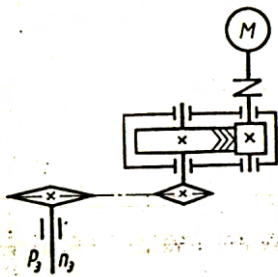
Задание к практической работе:

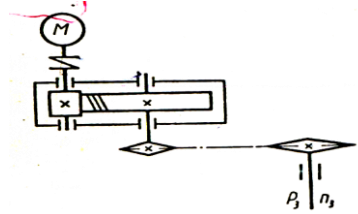
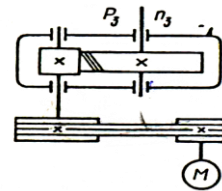
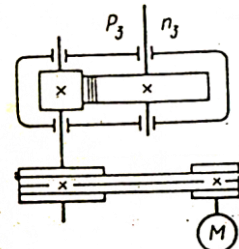
Для заданной схемы привода (таблица 1) выбрать электродвигатель, выполнить кинематический и динамический расчет привода.

Ход выполнения работы

1. Записать задание, выбрать кинематическую схему и исходные данные в соответствии с вариантом (таблица 1)

Таблица 1- Варианты заданий к практической работе

№п/п	Мощность на выходе привода, $P_{\text{вых}}$, кВт	Частота вращения выходного вала привода $n_{\text{вых}}$, мин ⁻¹	Кинематическая схема привода
1	4,6	130	
2	3,2	118	
3	1,8	80	
4	3,4	140	
5	2,5	100	
6	4,5	95	
7	2,5	60	
8	1,7	120	
9	2,3	130	
10	3,3	80	

11	4,6	120	
12	3,3	100	
13	4,5	100	
14	1,8	90	
15	2,5	85	
16	1,7	112	
17	3,2	160	
18	4,5	110	
19	4,4	150	
20	5,2	130	
21	4,3	40	
22	3,4	50	
23	4,5	30	
24	6	30	
25	3,5	50	

2. Выбрать электродвигатель.

2.1. Определить КПД привода $\eta = \eta_{\text{ц}}^a \cdot \eta_{\text{р}}^b \cdot \eta_{\text{з}}^c \cdot \eta_{\text{н}}^e, (I)$

где $\eta_{\text{ц}}, \eta_{\text{р}}, \eta_{\text{з}}$ – КПД соответственно цепных, ременных, зубчатых, передач,
пар подшипников /табл.2/

Таблица 2 - Значения КПД механических передач

Тип передачи	Закрытая	Открытая
Зубчатая:		
цилиндрическая	0,96...0,97	0,93...0,95
коническая	0,95...0,97	0,92...0,94
Цепная	0,95...0,97	0,90...0,93
Ременная:		
плоским ремнем		0,96...0,98
клиновыми (поликлиновым) ремнями		0,95...0,97

Примечания: 1. Потери в подшипниках на трение оцениваются следующим коэффициентом: для одной пары подшипников скольжения принимаются $\eta_{\text{вс}}=0,98...0,99$.
2. Потери в муфте принимаются $\eta_{\text{м}} \approx 0,98$

a,b,c,e- количество соответственно ценных, ременных, зубчатых, передач, пар подшипников.

Примечание: составляющие формулы (1) определяются в зависимости от кинематической схемы привода.

2.2.Определить требуемую мощность двигателя, кВт $P_{тр.дв} = \frac{P_{вых}}{\eta} \quad (2)$

2.3.Определить возможное передаточное отношение привода /табл.3/

$$u_{воз} = u_z \cdot u_p \cdot u_{ц}, \quad (3)$$

Таблица 3 - Рекомендуемые значения передаточных отношений

Закрытые зубчатые передачи (редукторы) одноступенчатые цилиндрические и конические (ГОСТ 2185— 66):					
1-й ряд - 2,0;	2,5;	3,15;	4,0;	5,0;	6,3;
2-й ряд-2,24;	2,8;	3,55;	4,5;	5,6;	7,1.
Значения 1-го ряда следует предпочитать значениям 2-го ряда.					
Закрытые червячные передачи (редукторы) одноступенчатые для червяка с числом витков г,=1; 2; 4 (ГОСТ 2144-75):					
1-й ряд-10;	12,5;	16;	20;	25;	31,5;
2-й ряд-11,2;	14;	18;	22,4	28;	35,5.
Значения 1-го ряда следует предпочитать значениям 2-го ряда.					
Открытые зубчатые передачи: 3...7, закрытые зубчатые передачи: 3...6.					
Цепные передачи: 2...4					
Ременные передачи (все типы): 2...4					

где u_z - передаточное отношение зубчатой передачи;

u_p – передаточное отношение ременной передачи ;

$u_{ц}$ – передаточное отношение цепной передачи

Примечание: составляющие формулы 3 определяются в зависимости от кинематической схемы привода.

2.4.Определить возможную частоту вращения вала двигателя

$$n_{возм} = n_{вых} \cdot u_{возм} \quad (4)$$

Таблица 4 - Двигатели асинхронные короткозамкнутые трехфазные серии 4А общепромышленного применения; закрытые, обдуваемые.

Номинальная мощ- ность	Синхронная частота вращения, об/мин							
	3000		1500		1000		750	
	Тип двигателя	Номинальная частота n_1 , об/мин	Тип двигателя	Номинальная частота n_1 , об/мин	Тип двигателя	Номинальная частота n_1 , об/мин	Тип двигателя	Номинальная частота n_1 , об/мин
0,25	4ААМ56В2У3	2760	4ААМ63А4У3	1370	4ААМ63В6У3	890	4АМ71В8У3	680
0,37	4ААМ63А2У3	2740	4ААМ63В4У3	1365	4АМ71А6У3	910	4АМ80А8У3	675
0,55	4ААМ63В2У3	2710	4АМ71А4У3	1390	4АМ71В6У3	900	4АМ80В8У3	700
0,75	4АМ71А2У3	2840	4АМ71В4У3	1390	4АМ80А6У3	915	4АМ90БА8У3	700
1,1	4АМ71В2У3	2810	4АМ80А4У3	1420	4АМ80В6У3	920	4АМ90БВ8У3	700
1,5	4АМ80А2У3	2850	4АМ80В4У3	1415	4АМ90Б6У3	935	4АМ100Б8У3	700
2,2	4АМ80В2У3	2850	4АМ90Б4У3	1425	4АМ100Б6У3	950	4АМ112МА8У3	700
3,0	4АМ90Б2У3	2840	4АМ100S4y3	1435	4АМ112МА6У3	955	4АМ112МВ8У3	700
4,0	4АМ100S2y3	2880	4АМ100Б4У3	1430	4АМ112МВ6У3	950	4АМ132S8y3	720
5,5	4АМГ00Б2У3	2880	4АМ112М4У3	1445	4АМ132S6y3	965	4АМ132М8У3	720
7,5	4АМ112М2У3	2900	4АМ132S4У3	1455	4АМ132М6У3	870	4АМ160S8y3	730

2.5. Выбрать стандартный электродвигатель

/таблица 4 /

Примечание: При выборе двигателя необходимо следовать рекомендациям:

- $P_{\text{дв}} > P_{\text{тр\text{дв}}}$ (допустимая перегрузка до 5%)
- частоту вращения двигателя необходимо принимать таким образом, чтобы передаточные отношения передач привода оказались наиболее рациональными. При этом необходимо учесть, двигатели с большой частотой вращения (синхронной 3000 мин⁻¹) имеют низкий рабочий ресурс, а двигатели с частотой 750 мин⁻¹ весьма металлоемки. Поэтому их без особой необходимости применять не рекомендуется;
- необходимо выбрать следующие характеристики двигателя:

- $P_{\text{дв}}$, кВт

- $n_{\text{дв}}$ мин⁻¹

3. Выполнить кинематический расчет привода

3.1. Определить передаточное отношение привода

$$u = \frac{n_{\text{дв}}}{n_{\text{вых}}} \quad (5)$$

3.2. Произвести разбивку передаточного отношения по ступеням

3.2.1. Назначить передаточное отношение зубчатой передачи ($u_{\text{зп}}$) в

соответствии с ГОСТ 2185-66

/табл.3/

3.2.2. Рассчитать передаточное отношение открытой передачи (ременной или цепной)

$$u_{\text{цп}} = u / u_{\text{зп}} \quad \text{или} \quad u_{\text{рп}} = u / u_{\text{зп}} \quad (6)$$

3.3. Определить частоту вращения валов привода n , мин⁻¹ с

учетом кинематической схемы

3.4. Определить угловые скорости валов привода, с⁻¹

$$\omega = \pi n / 30 \quad (7)$$

4. Выполнить динамический расчет привода

4.1. Определить мощность на валах привода (с учетом величины $P_{трдв}$ и потерь мощности в тех элементах привода, которые расположены на пути передачи мощности от двигателя до рассматриваемого вала).

$$P = P_{тр} \cdot \eta, \text{ кВт} \quad (8)$$

4.2. Определить величину вращающих моментов на валах привода,

$$M = P \cdot 10^3 / \omega, \text{ нм} \quad (9)$$

5. Сформулировать вывод по работе.

6. Ответить на контрольные вопросы:

- 1). Перечислите кинематические характеристики механической передачи.
- 2). Поясните физический смысл передаточного отношения и запишите формулы для его определения через кинематические и геометрические параметры ведущего и ведомого элементов.
- 3). Как определяется передаточное отношение многоступенчатого привода?
- 4). Выберите соотношение между геометрическими, кинематическими и силовыми параметрами ведущего и ведомого элементов зубчатого редуктора:
а) $u > 1$ б) $z_1 > z_2$ в) $w_1 > w_2$ г) $P_1 > P_2$ д) $M_1 > M_2$
 $u < 1$ $z_1 < z_2$ $w_1 < w_2$ $P_1 < P_2$ $M_1 < M_2$
- 5). Перечислите силовые характеристики механической передачи?
- 6). Поясните физический смысл КПД и запишите формулу его определения для механического привода?

Структура отчет по практической работе

1. Номер и название работы
2. Цель:
3. Задание к практической работе
4. Кинематическая схема привода.
5. Исходные данные: $P_{вых} =$, кВт
 $n_{вых} =$, мин⁻¹
6. Выбор электродвигателя.
- 6.1. Определение КПД привода
- 6.2. Определение требуемой мощности двигателя

- 6.3.Определение возможного передаточного отношения привода
- 6.4.Определение возможной частоты вращения вала двигателя
- 6.5.Выбор стандартного электродвигателя
- 7.Кинематический расчет привода.
 - 7.1.Определение фактического передаточного отношения привода
 - 7.2. Разбивка передаточного отношения по ступеням
 - 7.3.Определение частоты вращения валов привода, мин^{-1}
 - 7.4. Определение угловой скорости валов привода, с^{-1}
- 8.Динамический расчет привода.
 - 8.1. Определение мощности на валах привода, кВт
 - 8.2. Определение вращающих моментов на валах привода, нм

Таблица 5 - Результаты расчета

Параметр	Вал			
	зубчатой передачи		открытой передачи	
	ведущий	ведомый	ведущий	ведомый
Передаточное отношение u				
Частота вращения n , мин^{-1}				
Угловая скорость, ω , сек^{-1}				
Мощность, кВт				
Вращающий момент, нм				

- 9.Вывод по работе:
- 10.Ответы на контрольные вопросы.

Практическая работа № 15

Название практической работы: Изучение конструкции цилиндрического редуктора

Цель: изучение конструкции цилиндрического редуктора, знакомство с порядком сборки и разборки редуктора, измерение основных габаритных,

присоединительных и геометрических размеров, расчет основных параметров зубчатого зацепления.

Материальная база: цилиндрический редуктор, гаечные ключи, штангенциркуль, линейка.

Умения (элементы):-выбирать детали и узлы на основе анализа их свойств для конкретного применения;

-читать кинематические схемы;

-использовать справочную и нормативную документацию

Знания: (актуализация)- основы проектирования сборочных единиц;

-основы конструирования.

Теоретический материал

Редуктор –это закрытая механическая передача, служащая для передачи вращения от ведущего вала к ведомому с понижением скорости и повышением вращающего момента, передаточное отношение в редукторе –величина постоянная. В зависимости от вида входящих в него передач существуют зубчатые, червячные редукторы.

Зубчатые редукторы нашли широкое применение в машиностроительном оборудовании. В зависимости от вида используемой передачи различают цилиндрические редуктора с прямозубыми, косозубыми, шевронными передачами и конические редукторы.

В зависимости от расположения ведомого вала в пространстве редукторы выпускают в горизонтальном и вертикальном исполнении; в зависимости от числа ступеней различают одно- и многоступенчатые редукторы (рисунок 1).

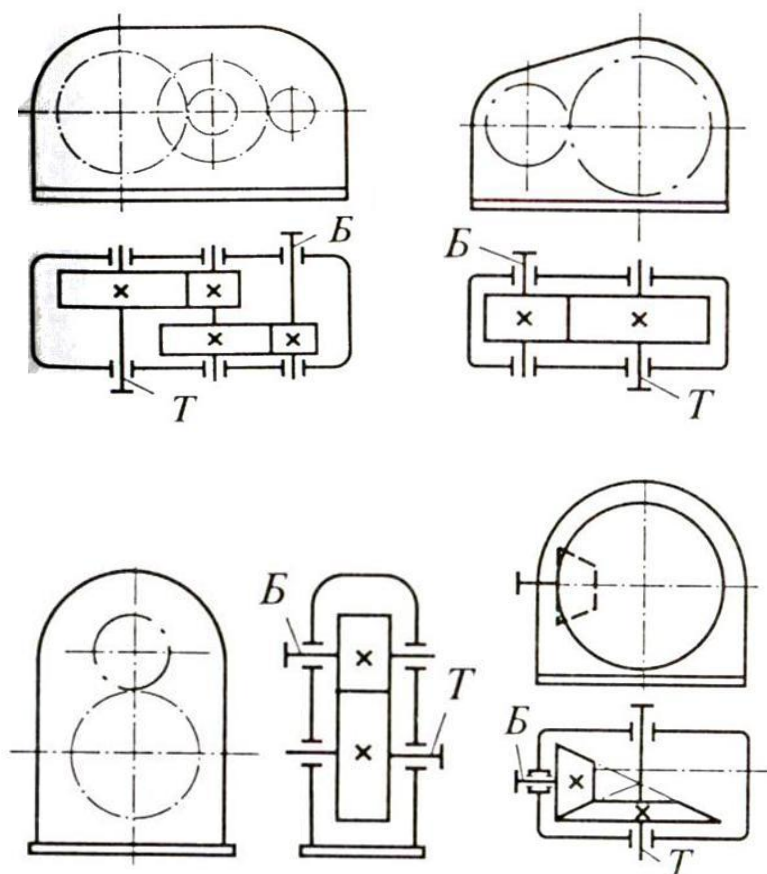


Рисунок 1 - Кинематические схемы цилиндрических редукторов.

Основными элементами цилиндрического редуктора (рисунок 2) является цилиндрическая зубчатая передача, помещенная в литом корпусе 3 с разъемной крышкой 9, линия разъема которой совпадает с осями валов 5, на которые установлены зубчатые колеса 4, 15. Крышка редуктора к корпусу крепится с помощью болтов 6, соосность гнезд подшипников в корпусе и крышке осуществляется с помощью двух конических штифтов 13.

Вращающий момент от зубчатых колес к валам и наоборот осуществляется с помощью шпонок или шлицов. Валы устанавливаются на подшипниках качения 2, выбор типа которых зависит от вида зубчатой передачи, возникающей в передаче нагрузки и требований, предъявляемых к жесткости установки валов. Осевая фиксация подшипников осуществляется фланцевыми или врезными крышками 1 и набором металлических прокладок 14.

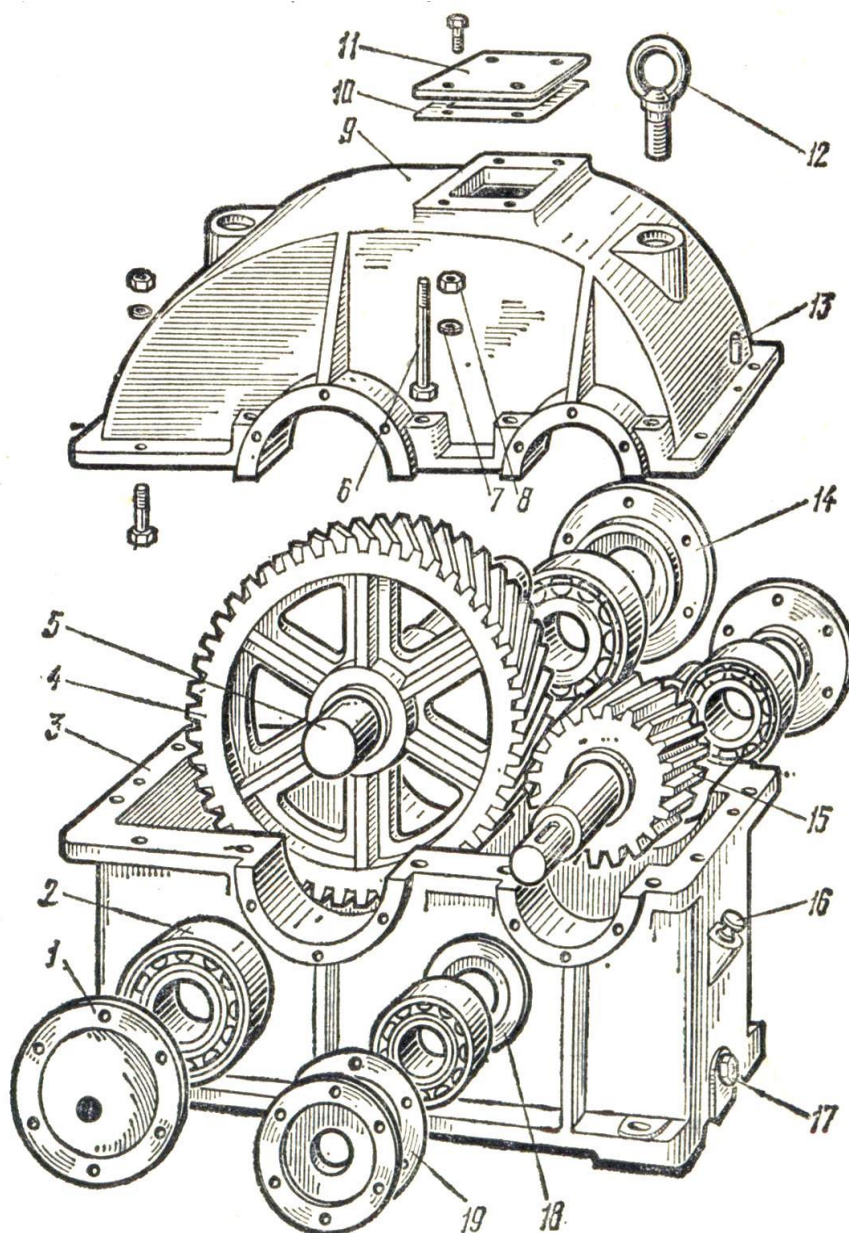


Рисунок 2 - Редуктор цилиндрический зубчатый

Смазка зацепления осуществляется погружением зубчатого колеса в масляную ванну на определенную глубину, а подшипников (чаще всего при небольших скоростях) – масляным туманом, образующимся при разбрызгивании масла. Для заливки масла и контроля состояния рабочих поверхностей зубчатых колес в крышке редуктора предусмотрено смотровое окно, закрытое крышкой 11; для контроля уровня и качества смазки предусмотрен жезловый маслоуказатель 16; для слива смазки в корпусе редуктора имеется отверстие, заглушенное резьбовой пробкой 17. для транспортировки предусмотрены рым-болты 12.

Задание к практической работе:

1. Замерить габаритные, присоединительные размеры редуктора, геометрические параметры зубчатой пары.
2. Произвести разборку редуктора, изучить его конструкцию.
3. Определить геометрические размеры зубчатой пары.
4. Произвести сборку редуктора.

Ход выполнения работы

1. Записать задание к практической работе.
 1. Вычертить кинематическую схему редуктора.
 3. Замерить габаритные и присоединительные размеры, используя рисунок 3.
- Результаты занести в таблицу 1.

Таблица 1- Габаритные и присоединительные размеры редуктора.

№п/п	Наименование размеров	Обозначение	Величина
<i>Габаритные</i>			
1	Длина	L_3	
2	<u>Ширина</u>	B	
3	<u>Высота</u>	H_1	
<i>Присоединительные</i>			
1	Диаметр быстроходного вала	d_1	
2	Вылет быстроходного вала	l_1	
3	Диаметр тихоходного вала	d_2	
4	Вылет тихоходного вала	l_2	
5	Расстояние от опорной поверхности нижнего фланца до линии разъема редуктора	H	
7	Межосевое расстояние	a_w	
8	Толщина нижнего фланца	H	
9	Длина опорной поверхности нижнего фланца	L_7	
10	Расстояние между осями отверстий под фундаментные болты	A_1 A	
11	Диаметр отверстий под фундаментные болты	d_5	

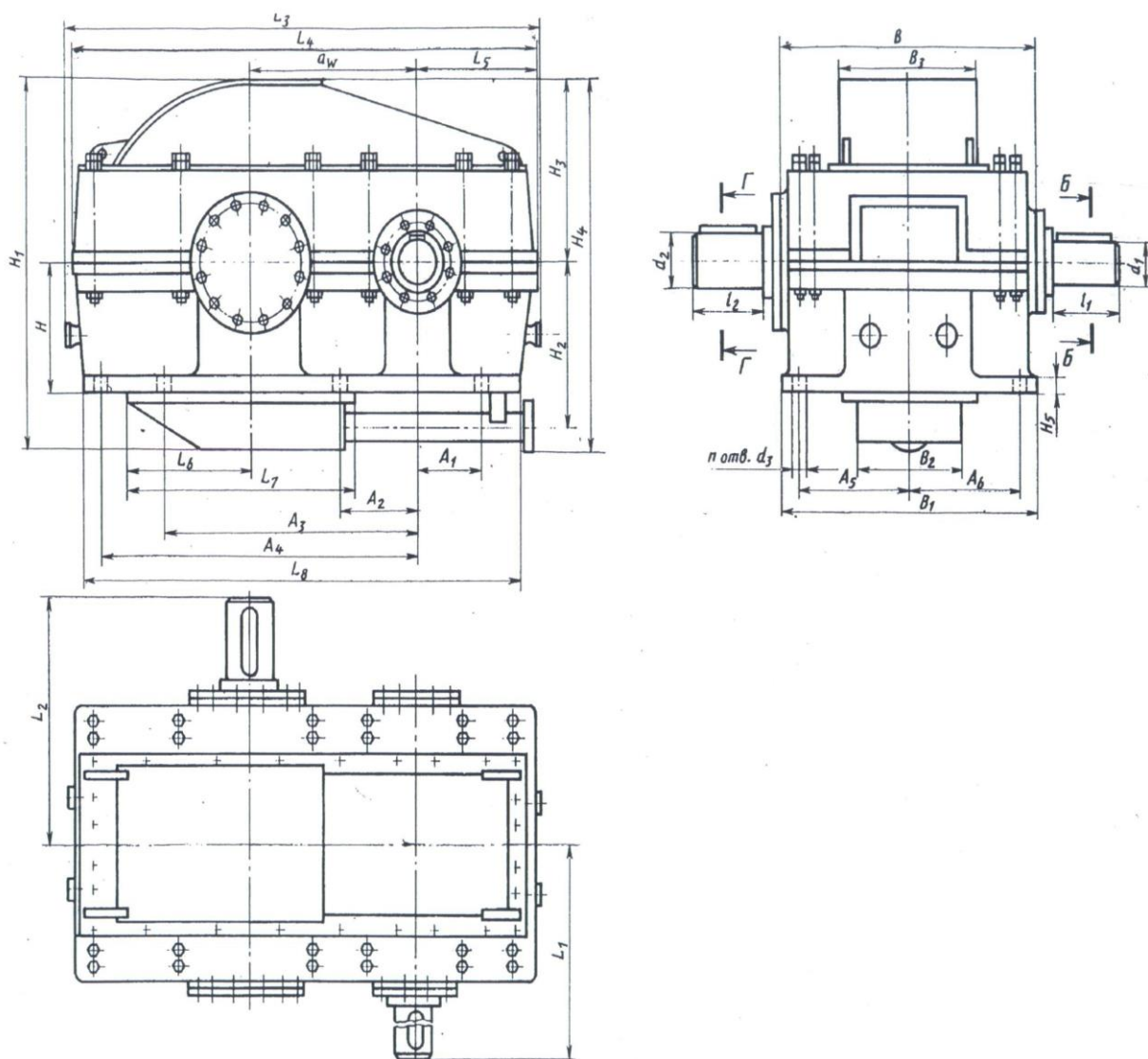


Рисунок 3. – Габаритные и присоединительные размеры редуктора.

4. Редуктор разобрать и описать порядок разборки.

5. Замерить геометрические параметры шестерни и колеса. Результаты занести в таблицу 2.

Таблица 2 - Замеряемые геометрические параметры зубчатой пары

№п/п	Наименование	Обозначение	Величина
1	Число зубьев шестерни	z_1	
2	Число зубьев колеса	z_2	
3	Диаметр выступов шестерни	d_{a1}	
4	Ширина венца колеса	b_2	

6. Рассчитать геометрические параметры зубчатой передачи:

6.1 передаточное отношение

$$u = \frac{z_2}{z_1}$$

6.2. модуль зацепления

$$m = \frac{d_{a1}}{Z_1 + 2} \quad (\text{значение согласовать})$$

со стандартным рядом нормальных модулей:

1-ый ряд: 1; 1,25; 2; 2,5; 3; 4; 6; 8; 10; 12; 16; 20;

2-ой ряд: 1,375; 1,75; 2,25; 2,75; 3,5; 4,5; 7; 9; 11; 14; 18; 22)

6.3. делительный диаметр шестерни

$$d_1 = m \cdot z_1$$

6.4. диаметр выступов шестерни

$$d_{a1} = d_1 + 2m$$

6.5. диаметр впадин шестерни

$$d_{f1} = d_1 - 2,5m$$

6.6. делительный диаметр колеса

$$d_2 = m \cdot z_2$$

6.7. диаметр выступов колеса

$$d_{a2} = d_2 + 2m$$

6.8. диаметр впадин колеса

$$d_{f2} = d_2 - 2,5m$$

6.9. межосевое расстояние

$$a_{\omega} = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

7. Занести замеренные и расчетные параметры в таблицу 3.

Таблица 3 - Сравнительный анализ замеренных и расчетных геометрических параметров элементов зубчатой пары

Параметры	d_{a1}	a_{ω}
Замеряемые		
Расчётные		

8. Выполнить сравнительный анализ замеренных и расчетных параметров

$$\Delta d_{a1} = \frac{d_{a1}^{pac.} - d_{a1}^{зам.}}{d_{a1}^{pac.}} \cdot 100 \% =$$

$$\Delta a_{\omega} = \frac{a_{\omega}^{pac.} - a_{\omega}^{зам.}}{a_{\omega}^{pac.}} \cdot 100 \% =$$

9. Произвести сборку редуктора и последовательность сборки занести в отчёт.

10. Сделать вывод по работе.

11. Ответить на контрольные вопросы.

1). Назвать габаритные размеры редуктора.

2). Назвать и объяснить назначение присоединительных размеров редуктора.

3). Каким образом осуществляется осевая фиксация подшипников качения.

4).Как достигается соосность отверстий под подшипники в корпусе и крышке редуктора?

5). Назовите конструктивные элементы редуктора для заливки, слива и контроля уровня смазки в редукторе.

Структура отчёта по практической работе

- 1.Номер и название работы.
- 2.Цель:
- 3.Материальная база:
4. Кинематическая схема редуктора
5. Замеряемые габаритные и присоединительные размеры.
7. Порядок разборки редуктора.
6. Замеряемые геометрические параметры зубчатой пары.
- 7.Расчет геометрических параметров зубчатого зацепления.
8. Сравнительный анализ расчетных и замеренных параметров.
9. Порядок сборки редуктора.
10. Вывод по работе.
11. Ответы на контрольные вопросы.

Практическая работа №16.

Название практической работы: Подбор и расчет подшипников качения

Цель: формирование умений подбора и расчета подшипников качения

Умения:.(элементы):-выбирать детали и узлы на основе анализа их свойств для конкретного применения;

-использовать справочную и нормативную документацию

Знания: (актуализация)–методика выполнения основных расчетов по деталям машин;

- методика определения статических и динамических нагрузок на элементы конструкций.

Теоретический материал.

Подшипники качения являются опорой для вращающихся валов и осей. Подшипники качения состоят из внутренних и наружных колец, тел качения и сепараторов, отделяющих тела качения друг от друга.

Подшипники качения классифицируются:

1. По воспринимаемой нагрузке:

-радиальные подшипники – воспринимают только радиальную нагрузку (роlikоподшипник с цилиндрическими роliками) или радиальную и некоторую осевую нагрузку (шарикоподшипники однорядные и роlikоподшипники с цилиндрическими роliками);

-упорные подшипники - воспринимают только осевую нагрузку;

-радиально-упорные и упорно-радиальные подшипники – воспринимают радиальную и осевую нагрузки, причём обладающей может быть как радиальная (радиально-упорные), так и осевая (упорно-радиальные) нагрузки;

2. по форме тел качения:

-шариковые (тела качения – шарики)

-роlikовые (тела качения – роliки: короткие цилиндрические, игольчатые, витые, конические, бочкообразные)

3. по габаритам и нагрузочной способности различают подшипники разных серий

4. по числу рядов тел качения: однорядные, двухрядные, многорядные;

5. по точности изготовления установлены следующие классы точности (в порядке повышения точности): 0, 6, 5, 4 и 2. Наибольшее применение в общем машиностроении находят подшипники класса 0 (нормальный класс точности) – в условном обозначении не указывают.

Краткие характеристики основных типов подшипников качения

1. Шарикоподшипник радиальный однорядный

Может воспринимать не только радиальные, но и осевые нагрузки, действующие в обоих направлениях и не превышают 70% неиспользованной

допустимой радиальной нагрузки (т.е. разности между допустимой в данных условиях и действующей радиальными нагрузками). Допускает перекос наружных колец относительно внутренних не более $10' \dots 15'$. Наиболее распространенный и дешёвый подшипник, который имеет сравнительно малую и радиальную и осевую жесткость, поэтому не рекомендуется для применения в узлах, требующих точную фиксацию валов.

2. Шарикоподшипник радиальный двухрядный сферический (самоустанавливающийся).

Воспринимает в основном радиальную нагрузку, но может воспринимать одновременно в обоих направлениях незначительную (20% от неиспользованной допустимой радиальной) осевую нагрузку. Допускает значительные перекосы внутренних колец относительно наружных (до $2^\circ \dots 3^\circ$). Применяется для нежёстких валов и в случае не обеспечения надлежащей соосности отверстий корпусов.

3. Роликоподшипник радиальный с короткими цилиндрическими роликами.

Воспринимает радиальную нагрузку. Допускает отдельный монтаж внутреннего (с комплектом роликов) и наружного кольца подшипников. Обладает большей радиальной грузоподъёмностью, чем радиальный шарикоподшипник. Очень чувствителен к перекосам осей колец. Требуется жестких валов и высокой соосности посадочных мест.

4. Роликоподшипник радиальный игольчатый.

Воспринимает только радиальную нагрузку. Осевое положение вала не фиксирует. Может применяться без внутреннего кольца. Рекомендуется для применения в узлах, работающих при колебательном движении вала и при малых числах оборота.

Игольчатые подшипники высокой точности могут работать при сравнительно высоких скоростях (окружная скорость вала до 10-12 м/с).

5. Роликоподшипник радиальный двухрядный.

Воспринимает радиальную и осевую нагрузки в обе стороны до 25% неиспользованной допустимой радиальной нагрузки. Допускает значительный ($2^{\circ} \dots 3^{\circ}$) перекос внутреннего кольца (вала) относительно наружного кольца (корпуса). Отличается от шарикоподшипника радиального двухрядного сферического большей грузоподъёмностью, но сложнее в изготовлении и дороже.

6. Шарикоподшипник радиально-упорный.

Воспринимает радиальную и осевую нагрузки только в одну сторону.

Допустимая осевая нагрузка для подшипника:

- тип 36000 ($\alpha = 12^{\circ}$) до 70% неиспользованной допустимой радиальной нагрузки;
- тип 46000 ($\alpha = 26^{\circ}$) до 150% неиспользованной допустимой радиальной нагрузки;
- тип 66000 ($\alpha = 32^{\circ}$) до 200% неиспользованной допустимой радиальной нагрузки;

7. Роликоподшипник радиально-упорный однорядный с коническими роликами

Воспринимает радиальную и осевую нагрузку только в одну сторону. Очень чувствителен к перекосам. Применяется в паре. Допускает регулировку осевой игры. Отличается от шарикоподшипника радиально-упорного большей грузоподъёмностью, малыми точностью вращения и предельными числами оборотов. Стоимость его ниже стоимости шарикоподшипника радиально-упорного. Допускается раздельный монтаж наружного кольца и внутреннего с комплектом роликов.

8. Шарикоподшипник упорный однорядный.

Воспринимает осевую нагрузку только в одну сторону. Применяется при сравнительно малых числах оборотов.

Система условных обозначений подшипников качения

Обозначения подшипников составляется из букв и цифр (максимальное количество цифр 7), условно характеризующих его в отношении размера отверстия, серии, типа и конструктивных особенностей.

Последние две цифры обозначения указывают шифр диаметра внутреннего кольца: ...00 – $d = 10$ мм: ... – $d = 12$ мм: и т.д., начиная от 04 ($d = 20$ мм) и кончая ...99 ($d = 495$ мм) эти цифры умножают на 5, чтобы получить внутренний диаметр в мм. Например, подшипник с внутренним диаметром 115 мм – цифры 23 и т.д.

Третья цифра справа условного обозначения указывает на серии подшипников: особо лёгкая – 1; лёгкая – 2; средняя – 3; тяжёлая – 4 и т.д.

Четвёртая цифра слева указывает на типы подшипника:

- 0 – радиальный шариковый (0 не проставляется в условном обозначении);
- 1 – радиальный шариковый сферический;
- 2 – радиальный шариковый с короткими цилиндрическими роликами;
- 3 – радиальный роликовый сферический;
- 4 – радиальный роликовый с длинными цилиндрическими роликами или игольчатый;
- 5 – радиальный роликовый с витыми роликами;
- 6 – радиально-упорный шариковый;
- 7 – роликовый конический (радиально-упорный);
- 8 – упорный шариковый;
- 9 – упорный роликовый.

Пятая и шестая цифра обозначает конструктивные особенности подшипников. К конструктивным особенностям можно отнести угол контакта шариков в радиально-упорных подшипниках, наличие стопорной канавки на пружинном кольце и т.д.

Более подробные сведения о характеристике и системе условных обозначений можно найти в специальной литературе.

Примеры условных обозначений подшипников качения:

1) Подшипник 210 – шариковый радиальный, лёгкой серии с внутренним диаметром 50 мм ($10 \cdot 5 = 50$ мм), нормального класса точности.

2) Подшипник 36207 – 0 – класс точности; 3 – угол контакта $\alpha = 12^\circ$; 6 – радиально-упорный шариковый; 2 – лёгкой серии; 07 – $d = 35$ мм ($\frac{35}{5} = 07$);

3) Подшипник 6-7108 – 6 – класс точности, 7 – конический роликовый; 1 – особо лёгкая серия; 08 – $d = 40$ мм ($\frac{40}{5} = 08$).

4) Подшипник 4109 – 0 – класс точности; 4 – игольчатый; 1 – особо лёгкая серия; 09 – $d = 45$ мм ($\frac{45}{5} = 09$).

Расчет подшипников качения .

Подшипники качения теряют работоспособность из-за усталостного разрушения поверхностных слоев дорожек качения и тел качения. Поэтому они рассчитываются на долговечность работы.

Порядок подбора и расчета подшипников качения.

1. Рекомендации по подбору типа подшипников.

В соответствии с установившейся практикой проектирования и эксплуатацией машин тип подшипника выбирают следуя рекомендациям:

- для опор валов цилиндрических колес чаще всего используют шариковые радиальные подшипники. Предварительно принимают подшипники легкой серии;

- конические и червячные колеса должны быть точно и жестко зафиксированы и поэтому в качестве опор таких валов устанавливают конические радиально-упорные подшипники;

- для опор вала конической шестерни, имеющей консольное расположение, используют конические радиально-упорные подшипники;

- в качестве опор червяка – шариковые радиально-упорные подшипники;

- для опор плавающих валов шевронных передач используют

Радиальные подшипники с короткими цилиндрическими роликами.

Во всех случаях рекомендуются начинать подбор подшипников с легкой серии и нулевого класса точности.

2.Порядок определения маркировки подшипника.

2.1.В зависимости от диаметра цапфы определяются 2 последние цифры в маркировке подшипника делением диаметра цапф на 5.

2.2.Назначается легкая серия.

2.3. Назначается тип подшипника по воспринимаемой нагрузке и форме тел качения.

2.4.Составляется маркировка подшипника, выбираются в соответствии с ГОСТом параметры подшипника:

$d =$ $D =$ $B =$ $C_o =$ $C =$

Задание для практической работы

Подобрать подшипники качения для ведомого вала редуктора, проверить их на долговечность, сформулировать вывод о пригодности подшипников, в случае непригодности подшипников предложить возможные варианты их замены.

Исходные данные:

-частота вращения ведомого вала $n =$ (результаты работы №14)

-тип передачи: цилиндрическая прямозубая

-диаметр цапфы $d_{ц} = 40$ мм

-реакции связей в вертикальной плоскости:

$R_{ya} =$ $R_{yc} =$ (результаты работы №13)

-реакции связей в горизонтальной

$R_{xa} =$ $R_{xc} =$ (результаты работы №13)

-ресурс работы подшипников $[L] = 10000$ часов

Ход выполнения работы.

1. Записать задание и исходные данные.
2. Подобрать подшипники.
3. Составить маркировку подшипника, выбрать в соответствии с ГОСТом параметры подшипника: $d =$ $D =$ $B =$ $C_0 =$ $C =$
4. Определить суммарную радиальную нагрузку в каждой опоре

$$R_r = \sqrt{(R_x^2 + R_y^2)},$$

где R_x, R_y - соответственно реакции подшипника в горизонтальной и вертикальной плоскостях

5. Определить эквивалентную нагрузку для наиболее нагруженной опоры:

$$F_{\text{ЭКВ}} = (XVR_r + YF_a)K_\sigma K_T$$

где F_a – осевая сила; X, Y – коэффициенты соответственно радиальной и осевой нагрузок, принимаемые в зависимости от отношения $\frac{F_a}{VR_r}$:

если $\frac{F_a}{VR_r} \geq e$, то значения X, Y принимают по таблице 1;

если $\frac{F_a}{VR_r} \leq e$, то $X=1, Y=0$;

e -коэффициент осевой нагрузки, величина которого определяется в зависимости от отношения: $\frac{F_a}{C_0}$ по таблице 1, где C_0 – статическая

грузоподъемность подшипника.

Таблица 1 - Коэффициенты X, Y и e для шариковых радиальных подшипников.

$\frac{F_a}{C_0}$	$\frac{F_a}{VR_r} \leq e$		$\frac{F_a}{VR_r} > e$		e
	X	Y	X	Y	
0,014	1	0	0,56	2,3	0,19
0,028				1,99	0,22
0,056				1,71	0,26
0,084				1,55	0,28
0,11				1,45	0,3

0,17				1,31	0,34
0,28				1,15	0,38
0,42				1,04	0,42
0,56				1.00	0,44

V- коэффициент кольца (V=1, если вращается внутреннее кольцо; V=1,2, если вращается внешнее кольцо)

F_a – осевая нагрузка подшипника;

R_r – суммарная радиальная нагрузка подшипника в каждой опоре.

K_σ – коэффициент нагрузки /таблица 2/

Таблица 2 – Значение коэффициента K_σ

Нагрузка на подшипник	K_σ	Примеры использования
Спокойная без толчков	1.0	Ролики ленточных конвейеров
Легкие толчки, кратковременная перегрузки до 125% номинальной нагрузки	1,0...1,2	Прецизионные зубчатые передачи, металлорежущие станки (кроме строгальных и долбежных), легкие вентиляторы
Умеренные толчки, кратковременная перегрузка до 150% номинальной нагрузки	1,3...1,5	Зубчатые передачи 7-ой, 8-ой степеней точности, редукторы всех конструкций

K_t – температурный коэффициент /таблица 3 /

Таблица 3 - Значение коэффициента K_t

Рабочая температура подшипника, С°	125	150	175	200	225	250	350
Температурный коэффициент, K_t	1,05	1,1	1,15	1,25	1,35	1,4	1,45

6. Определить долговечность наиболее нагруженного подшипника.

$$L = \left(\frac{C}{F_{\text{экв}}} \right)^m \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n},$$

где C – динамическая грузоподъемность выбранного подшипника,

n – частота вращения вала

$m = 3$ - для шариковых; $m = \frac{10}{3}$ - для роликовых подшипников

7. Сформулировать вывод о пригодности подшипников

8. Сформулировать вывод по работе

9. Ответить на контрольные вопросы:

- 1). Укажите критерии подбора подшипников качения.
- 2). Запишите формулу для определения эквивалентной нагрузки с расшифровкой входящих величин.
- 3). Как Вы понимаете «грузоподъемность подшипника»?
- 4). Назовите факторы, влияющие на долговечность подшипников.
- 5). В чём преимущество роликовых подшипников перед шариковыми?

Структура отчета по работе

1. Номер и название работы.
2. Цель:
3. Задание и исходные данные.
4. Подбор подшипников и маркировка выбранного подшипника с указанием его параметров.
5. Определение суммарной радиальной нагрузки в каждом подшипнике.
6. Определение эквивалентной нагрузки в каждом подшипнике.
7. Определение долговечности наиболее нагруженного подшипника
8. Вывод о пригодности выбранных подшипников.
9. Вывод по работе.
10. 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 несуществен-	3 (удовлетворительно)

	ными ошибками, исправленными с помощью преподавателя.	
--	---	--

ЛИТЕРАТУРА

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