

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

Многопрофильный колледж



**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ДЛЯ ЛАБОРАТОРНЫХ И ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ
УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
ОП.02 Техническая механика**

для обучающихся специальности

22.02.05 Обработка металлов давлением

Магнитогорск, 2022

ОДОБРЕНО

Предметно-цикловой комиссией
«Металлургии и ОМД»
Председатель О.В. Шелковникова
Протокол № 10 от 22.06.2022 г.

Методической комиссией МпК

Протокол № 6 от 29.06.2022 г.

Разработчик:

Д.Б.Зуев,
доцент ВАК, канд. техн. наук, преподаватель МпК ФГБОУ ВО «МГТУ им.Г.И.Носова»

Методические указания по выполнению практических и лабораторных работ разработаны на основе рабочей программы учебной дисциплины «Техническая механика».

Содержание практических и лабораторных работ ориентировано на подготовку обучающихся к освоению профессионального(ых) модуля(ей) программы подготовки специалистов среднего звена по специальности 22.02.05 Обработка металлов давлением и овладению профессиональными компетенциями.

СОДЕРЖАНИЕ

1 Введение	4
2 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ	6
Практическое занятие № 1	6
Практическое занятие № 2	8
Практическое занятие № 3	11
Практическое занятие № 4	13
Практическое занятие № 5	15
Практическое занятие № 6	18
Практическое занятие №7	21
Лабораторное занятие №1	23
Практическое занятие №8	29
Практическое занятие № 9	32
Практическое занятие № 10	35
Практическое занятие № 11	37
Практическое занятие № 12	39
Лабораторное занятие №2	43
Практическое занятие № 13	49

1 Введение

Важную часть теоретической и профессиональной практической подготовки обучающихся составляют практические и лабораторные занятия.

Состав и содержание практических и лабораторных занятий направлены на реализацию Федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования.

Ведущей дидактической целью практических занятий является формирование профессиональных практических умений (умений выполнять определенные действия, операции, необходимые в последующем в профессиональной деятельности) или учебных практических умений (умений решать задачи.), необходимых в последующей учебной деятельности.

Ведущей дидактической целью лабораторных занятий является экспериментальное подтверждение и проверка существенных теоретических положений (законов, зависимостей).

В соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Техническая механика» предусмотрено проведение практических и/или лабораторных занятий.

В результате их выполнения, обучающийся должен:

уметь:

У1.6.01 производить расчеты механических передач и простейших сборочных единиц;

У1.1.03 читать кинематические схемы;

У5.5.01 определять напряжения в конструктивных элементах.

Содержание практических работ ориентировано на подготовку обучающихся к освоению профессионального модуля программы подготовки специалистов среднего звена по специальности и овладению **профессиональными компетенциями:**

ПК 1.5. Использовать программное обеспечение по учету и складированию выпускаемой продукции

ПК 1.6. Рассчитывать и анализировать показатели эффективности работы участка, цеха

ПК 2.1. Выбирать соответствующее оборудование, оснастку и средства механизации для ведения технологического процесса

ПК 2.2. Проверять исправность и оформлять техническую документацию на технологическое оборудование

ПК 2.5. Эксплуатировать технологическое оборудование в плановом и аварийном режимах

ПК 2.6. Производить расчеты энергосиловых параметров оборудования

ПК 3.2. Осуществлять технологические процессы в плановом и аварийном режимах

ПК 3.7 Осуществлять технологический процесс в плановом режиме, в том числе используя программное обеспечение, компьютерные и телекоммуникационные средства

ПК 3.8. Оформлять техническую документацию технологического процесса

ПК 3.9. Применять типовые методики расчета параметров обработки металлов давлением

А также формированию **общих компетенций:**

ОК 1. Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности, применительно к различным контекстам.

ОК 2. Использовать современные средства поиска, анализа и интерпретации информации, и информационные технологии для выполнения задач профессиональной деятельности.

ОК 3. Планировать и реализовывать собственное профессиональное и личностное развитие, предпринимательскую деятельность в профессиональной сфере, использовать знания по финансовой грамотности в различных жизненных ситуациях.

Выполнение обучающихся практических работ по учебной дисциплине «Техническая механика» направлено на:

- обобщение, систематизацию, углубление, закрепление, развитие и детализацию полученных теоретических знаний по конкретным темам учебной дисциплины;

- формирование умений применять полученные знания на практике, реализацию единства интеллектуальной и практической деятельности;

- формирование и развитие умений: наблюдать, сравнивать, сопоставлять, анализировать, делать выводы и обобщения, самостоятельно вести исследования, пользоваться различными приемами измерений, оформлять результаты в виде таблиц, схем, графиков;

- выработку при решении поставленных задач профессионально значимых качеств, таких как самостоятельность, ответственность, точность, творческая инициатива.

Практические занятия проводятся после соответствующей темы, которая обеспечивает наличие знаний, необходимых для ее выполнения.

2 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Тема 1.1 Основные понятия и аксиомы статики. Плоская система сходящихся сил

Практическое занятие № 1

Расчет реакций опор для плоской системы сходящихся сил

Цель:

- Знать способ разложения силы на составляющие,
- Изучить способы сложения сил, линии действия которых сходятся в одной точке,
- Знать геометрический и аналитический способы определения равнодействующей силы и уметь ими пользоваться.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

У1.6.01 производить расчеты механических передач и простейших сборочных единиц;

Материальное обеспечение:

Конспект лекций, инструкция по выполнению работы, интернет-ресурсы, линейка, карандаш, ластик.

Задание:

Выполнить расчет равнодействующей системы сил

Краткие теоретические сведения:

Пример 1. Груз (рисунок 1) подвешен на стержнях и канатах и находится в равновесии. Изобразить систему сил, действующих на шарнир

Решение

1. Реакции стержней направлены вдоль стержней, реакции гибких связей направлены вдоль нитей в сторону натяжения (рисунок 1, а).
2. Для определения точного направления усилий в стержнях мысленно убираем последовательно стержни 1 и 2. Анализируем возможные перемещения точки *A*. Неподвижный блок с действующими на него силами не рассматриваем.
3. Убираем стержень 1, точка *A* поднимается и отходит от стены, следовательно, реакция стержня 1 направлена к стене.
4. Убираем стержень 2, точка *A* поднимается и приближается к стене, следовательно, реакция стержня 2 направлена от стены вниз.
5. Канат тянет вправо.
6. Освобождаемся от связей (рисунок 1, б).



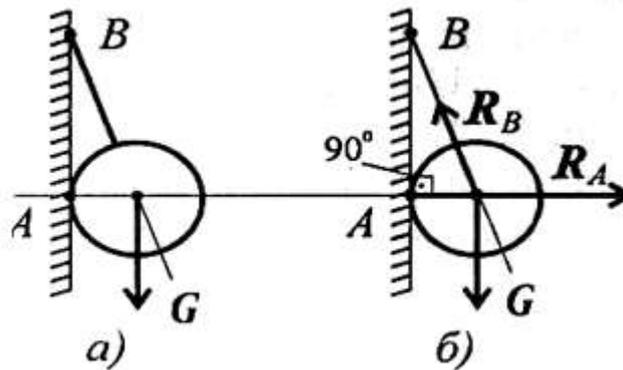
- а) Силы, действующие на шарнир А.
 б) Система сходящихся сил.

Рисунок 1 – Груз, подвешенный на стержнях и канатах

Пример 2. Шар подвешен на нити и опирается на стену (рисунок 2, а). Определить реакции нити и гладкой опоры (стенки).

Решение

1. Реакция нити — вдоль нити к точке В вверх (рисунок 2, б).
2. Реакция гладкой опоры (стенки) — по нормали от поверхности опоры.



- а) шар на нити;
 б) реакции

Рисунок 2 - Определение реакции нити и гладкой опоры

Порядок выполнения работы:

- 1 Рассмотреть теоретические положения
- 2 Изучить методику расчета равнодействующей системы сил
- 3 Выполнить расчет равнодействующей системы сил
- 4 Сделать вывод
- 5 Ответить на контрольные вопросы

Форма представления результата:

Защита практической работы

Критерии оценки:

- Оценка 3 – одна реакция рассчитана верно.
 Оценка 4 – все реакции посчитаны верно.
 Оценка 5 – защита работы (составить уравнение моментов относительно точки С).

Тема 1.3. Плоская система произвольно расположенных сил

Практическое занятие № 2

Определение реакций в 2х опорной балке.

Цель: иметь представление о видах опор балочных систем и возникающих в них реакциях. Знать формы уравнений равновесия плоской системы произвольно расположенных сил и уметь их использовать для определения реакций для балки с шарнирными опорами

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

У1.6.01 производить расчеты механических передач и простейших сборочных единиц;

Материальное обеспечение:

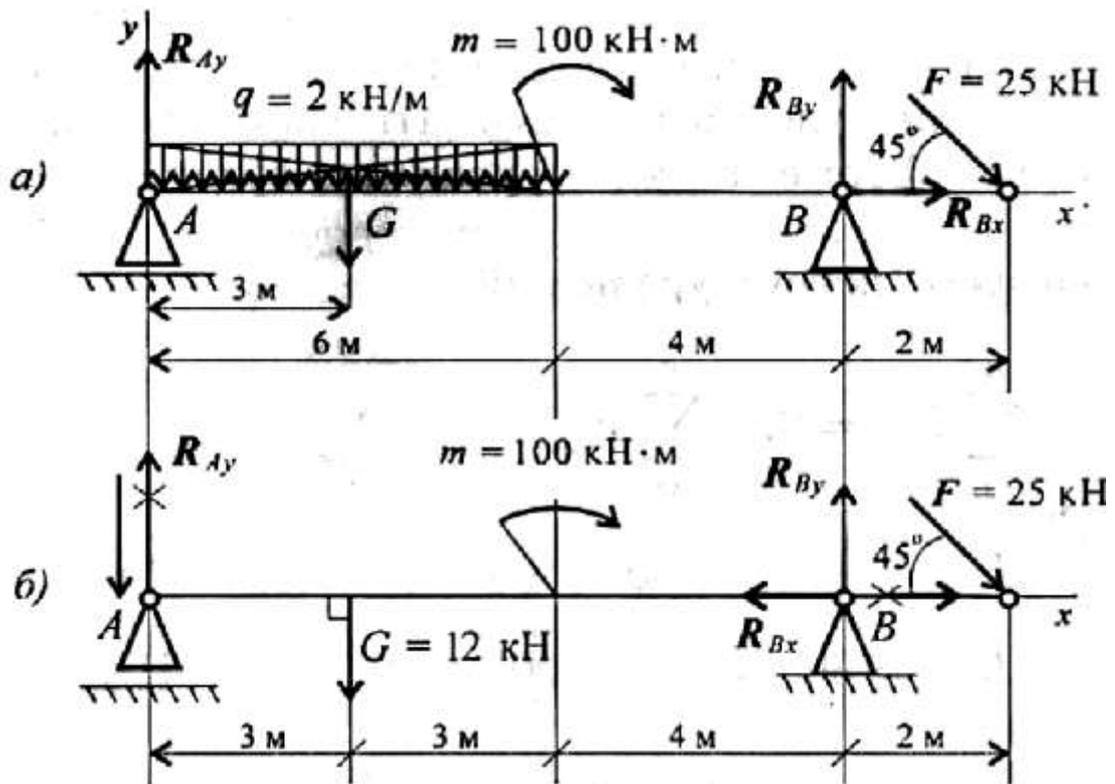
Конспект лекций, инструкция по выполнению работы, интернет-ресурсы, линейка, карандаш, ластик

Задание:

Определить величины реакций в шарнирах двухопорной балки. Провести проверку решения.

Краткие теоретические сведения:

Пример. Двухопорная балка с шарнирными опорами A и B нагружена сосредоточенной силой F , распределенной нагрузкой с интенсивностью q и парой сил с моментом m (рисунок 1). Определить реакции опор.



а) с распределенной нагрузкой;

б) с заменой распределенной нагрузки на сосредоточенную

Рисунок 1 - Реакции опор в двухопорной балке

Решение

1. Левая опора (точка A) — подвижный шарнир, здесь реакция направлена перпендикулярно опорной поверхности. Правая опора (точка B) — неподвижный шарнир, здесь наносим две составляющие реакции вдоль осей координат. Ось Ox совмещаем с продольной осью балки.

2. Поскольку на схеме возникнут две неизвестные вертикальные реакции, использовать первую форму уравнений равновесия нецелесообразно.

3. Заменяем распределенную нагрузку сосредоточенной:

$$G = ql; G = 2 \times 6 = 12 \text{ кН.}$$

Сосредоточенную силу помещаем в середине пролета, далее задача решается с сосредоточенными силами (рис. 1, б).

4. Наносим возможные реакции в опорах (направление произвольное).

5. Для решения выбираем уравнение равновесия в виде

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_0^n m_{kA} = 0; \\ \sum_0^n m_{kB} = 0; \\ \sum_0^n F_{kx} = 0. \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{Проверка:} \\ \sum_0^n F_{ky} = 0. \end{array}$$

$$\begin{aligned} \sum_0^n m_{kA} &= G \cdot 3 + m - R_{By} \cdot 10 + F \cdot 12 \cdot \sin 45^\circ = 0. \\ R_{By} \cdot 10 &= G \cdot 3 + m + F \cdot 12 \cdot \sin 45^\circ; \end{aligned}$$

$$R_{By} \cdot 10 = 12 \cdot 3 + 100 + 25 \cdot 12 \cdot 0,7; \quad R_{By} = \frac{346}{10} = 34,6 \text{ кН.}$$

6. Составляем уравнения моментов относительно точек крепления:

Реакция направлена верно.

$$\sum_0^n m_{kB} = R_{Ay} \cdot 10 - G \cdot 7 + m + F \cdot 2 \cdot \sin 45^\circ = 0.$$

$$R_{Ay} \cdot 10 = G \cdot 7 - m - F \cdot 2 \cdot \sin 45^\circ;$$

$$R_{Ay} \cdot 10 = 12 \cdot 7 - 100 - 50 \cdot 0,7; \quad R_{Ay} = -\frac{51}{10} = -5,1 \text{ кН.}$$

Реакция отрицательная, следовательно, R_{Ay} нужно направить в противоположную сторону.

7. Используя уравнение проекций, получим:

$$\sum_0^n F_{kx} = R_{Bx} + F \cos 45^\circ = 0; \quad R_{Bx} = -F \cos 45^\circ; \quad R_{Bx} = -17,5 \text{ кН;}$$

R_{Bx} — горизонтальная реакция в опоре B .

Реакция отрицательна, следовательно, на схеме ее направление будет противоположно выбранному.

8. Проверка правильности решения. Для этого используем четвертое уравнение равновесия

$$\sum_0^n F_{ky} = 0:$$

$$-R_{Ay} - G + R_{By} - F \cos 45^\circ = 0.$$

Подставим полученные значения реакций. Если условие выполнено, решение верно:

$$-5,1 - 12 + 34,6 - 25 \cdot 0,7 = 0.$$

Порядок выполнения работы:

- 1 Рассмотреть теоретические положения
- 2 Изучить методику расчета опорных реакций балок
- 3 Выполнить расчет
- 4 Сделать вывод
- 5 Ответить на контрольные вопросы

Форма представления результата: защита практической работы

Критерии оценки:

Оценка 3 – две реакции рассчитаны верно.

Оценка 4 – все реакции посчитаны верно.

Оценка 5 – защита работы (составить уравнение моментов относительно точки В).

Тема 1.3. Плоская система произвольно расположенных сил

Практическое занятие № 3

Определение реакций в жесткой заделке.

Цель: иметь представление о видах опор балочных систем и возникающих в них реакциях. Знать формы уравнений равновесия плоской системы произвольно расположенных сил и уметь их использовать для определения реакций для балки с жесткой заделкой.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

У1.6.01 производить расчеты механических передач и простейших сборочных единиц;

Материальное обеспечение:

Конспект лекций, инструкция по выполнению работы, интернет-ресурсы, линейка, карандаш, ластик

Задание:

Определить реакции консольной балки, изображенной на рисунке 1.

Краткие теоретические сведения:

Пример 1. Одноопорная (зашемленная) балка нагружена сосредоточенными силами и парой сил (рисунок 1). Определить реакции заделки.

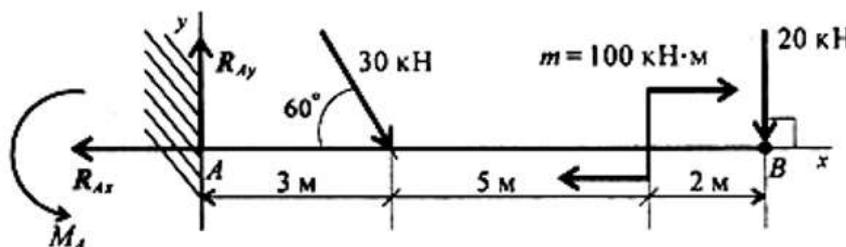


Рисунок 1 – Балка с зашечленным концом

Решение

1. В заделке может возникнуть реакция, представляемая двум: составляющими (R_{Ay} , R_{Ax}), и реактивный момент M_A . Наносим на схему балки возможные направления реакций.

Замечание. Если направления выбраны неверно, при расчетах получим отрицательные значения реакций. В этом случае реакции на схеме следует направить в противоположную сторону, не повторяя расчета.

В силу малой высоты считают, что все точки балки находятся на одной прямой; все три неизвестные реакции приложены в одной точке. Для решения удобно использовать систему уравнений равновесия в первой форме. Каждое уравнение будет содержать одну неизвестную.

2. Используем систему уравнений:

$$\sum_0^n F_{kx} = 0; \quad \sum_0^n F_{ky} = 0; \quad \sum_0^n m_{kA} = 0.$$

$$\sum_0^n F_{kx} = -R_{Ax} + 30 \cdot \cos 60^\circ + 20 \cdot \cos 90^\circ = 0.$$

$$R_{Ax} = 30 \cdot \cos 60^\circ + 20 \cdot \cos 90^\circ = 15 \text{ кН.}$$

$$\sum_0^n F_{ky} = R_{Ay} - 30 \cdot \cos 30^\circ - 20 \cdot \cos 0^\circ = 0.$$

$$R_{Ay} = 30 \cdot 0,866 + 20 \cdot 1 = 45,98 \text{ кН.}$$

$$\sum_0^n m_{kA} = -M_A + 30 \cdot 3 \cdot \sin 60^\circ + 100 + 20 \cdot 10 = 0.$$

$$M_A = 377,94 \text{ кН}\cdot\text{м.}$$

Знаки полученных реакций (+), следовательно, направления реакций выбраны верно.

3. Для проверки правильности решения составляем уравнение моментов относительно точки В.

$$\sum m_{kB} = -M_A + R_{Ay} \cdot 10 - 30 \cdot 7 \cdot \sin 60^\circ + 100 = 0.$$

Подставляем значения полученных реакций:

$$-377,94 + 45,98 \cdot 10 - 210 \cdot 0,866 + 100 = 0;$$

$$-559,8 + 559,8 = 0.$$

Решение выполнено верно.

Порядок выполнения работы:

- 1 Рассмотреть теоретические положения
- 2 Изучить методику расчета опорных реакций консольных балок
- 3 Выполнить расчет
- 4 Сделать вывод
- 5 Ответить на контрольные вопросы

Форма представления результата: защита практической работы

Критерии оценки:

Оценка 3 – две реакции рассчитаны верно.

Оценка 4 – все реакции посчитаны верно.

Оценка 5 – защита работы (составить уравнение моментов относительно точки В).

Тема 1.4 Центр тяжести

Практическое занятие № 4

Определение центра тяжести фигуры, составленной из прокатных профилей

Цель: в результате выполнения работы студент должен знать методы определения центра тяжести тела и формулы для определения положения центра тяжести плоских фигур. Уметь определять положение центра тяжести сложных геометрических фигур и фигур, составленных из стандартного профиля.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

У1.6.01 производить расчеты механических передач и простейших сборочных единиц;

Материальное обеспечение:

Конспект лекций, инструкция по выполнению работы, интернет-ресурсы, линейка, карандаш, ластик

Задание:

- 1 Повторить теоретический материал
- 2 Изучить методику определения центра тяжести прокатных профилей
- 3 Выполнить расчет

Краткие теоретические сведения:

Пример 1. Определить координаты центра тяжести составного сечения. Сечение состоит из листа и прокатных профилей.

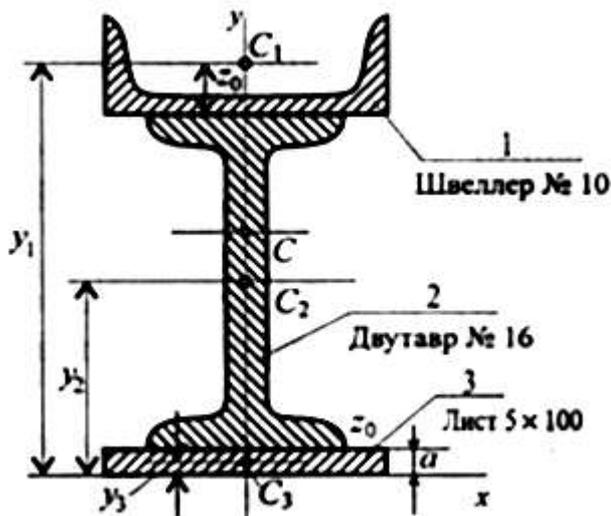


Рисунок 1 – Составное сечение из листа и прокатных профилей

Примечание. Часто рамы сваривают из разных профилей, создавая необходимую конструкцию. Таким образом, уменьшается расход металла и образуется конструкция высокой прочности.

Для стандартных прокатных профилей собственные геометрические характеристики известны. Они приводятся в соответствующих стандартах.

Решение

1. Обозначим фигуры номерами и выпишем из таблиц необходимые данные:

- 1) – швеллер № 10 (ГОСТ 8240-89); высота $h = 100$ мм; ширина полки $b = 46$ мм; площадь сечения $A_1 = 10,9$ см²;
- 2) – двутавр № 16 (ГОСТ 8239-89); высота 160 мм; ширина полки 81 мм; площадь сечения $A_2 = 20,2$ см²;
- 3) – лист 5x100; толщина 5 мм; ширина 100 мм; площадь сечения $A_3 = 0,5 \times 10 = 5$ см².

2. Координаты центров тяжести каждой фигуры можно определить по чертежу.

Составное сечение симметрично, поэтому центр тяжести находится на оси симметрии и координата $x_C = 0$.

Швеллер 1: $y_1 = a + h_2 + z_0$; $y_1 = 0,5 + 16 + 1,44 = 17,54$ см.

Двутавр 2: $y_2 = a + \frac{h_2}{2}$; $y_2 = 0,5 + 16/2 = 8,5$ см.

Лист 3: $y_3 = a/2 = 0,25$ см.

3. Определение центра тяжести составного сечения:

$$y_C = \frac{A_1 y_1 + A_2 y_2 + A_3 y_3}{A_1 + A_2 + A_3},$$

$$y_C = \frac{10,9 \cdot 17,54 + 20,2 \cdot 8,5 + 5 \cdot 0,25}{10,9 + 20,2 + 5} = 10 \text{ см.}$$

Порядок выполнения работы:

- 1 Рассмотреть теоретические положения
- 2 Изучить методику определения центра тяжести прокатных профилей
- 3 Выполнить расчет
- 4 Сделать вывод
- 5 Ответить на контрольные вопросы

Форма представления результата: защита практической работы

Критерии оценки:

Оценка 3 – верно определены координаты центра тяжести отдельных профилей.

Оценка 4 – верно рассчитаны координаты общего центра тяжести.

Оценка 5 – защита работы (определить координаты указанной преподавателем на схематички).

Тема 2.2 Простейшие движения твердого тела. Сложное движение твердого тела

Практическое занятие № 5 Решение задач по разделу «Кинематика»

Цель работы: Определение параметров движения точки по заданному закону движения и построение кинематических графиков движения.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

У1.6.01 производить расчеты механических передач и простейших сборочных единиц;

Материальное обеспечение:

Конспект лекций, инструкция по выполнению работы, интернет-ресурсы, линейка, карандаш, ластик

Задание. Точка движется прямолинейно согласно уравнению $s = 20t - 5t^2$ (s в м, t в с). Построить графики расстояний, скорости и ускорения для первых 4 с движения. Определить путь, пройденный точкой за 4 с, и описать движение точки.

Краткие теоретические сведения:

Расчетные формулы для определения параметров движения тела.

Все точки тела движутся одинаково. Закон равномерного движения:

$$S = S_0 + vt.$$

Закон равнопеременного движения:

$$S = S_0 + v_0t + \frac{a_t t^2}{2}.$$

Здесь S_0 — путь, пройденный до начала отсчета, м;

v_0 — начальная скорость движения, м/с;

a_t — постоянное касательное ускорение, м/с²

Скорость:

$$v = S'; \quad v = v_0 + a_t t.$$

Ускорение:

$$a_t = v'.$$

Закон неравномерного движения:

$$S = f(t^3).$$

Кинематический график равномерного поступательного движения представлен на рисунке 1.

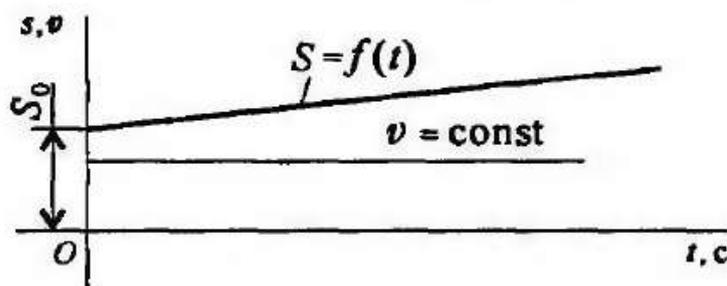


Рисунок 1 – Равномерное поступательное движение

Пример 1. По заданному графику скорости найти путь, пройденный за время движения (рисунок 2).

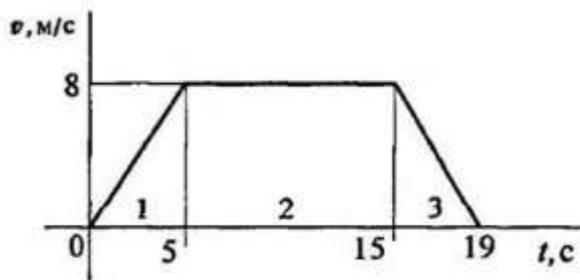


Рисунок 2 – График скорости

Решение

1. По графику следует рассмотреть три участка движения. Первый участок — разгон из состояния покоя (равноускоренное движение).

Уравнение скорости $v_1 = v_0 + a_1 t_1; v_0 = 0$.

Ускорение $a_1 = \frac{v_1}{t_1}; a_1 = \frac{8}{5} = 1,6 \text{ м/с}$.

Второй участок — равномерное движение: $v = 8 \text{ м/с}; a_2 = 0$.

Третий участок — торможение до остановки (равнозамедленное движение).

Уравнение скорости $v_3 = v_{03} + a_3 t_3; v_3 = 0$.

Ускорение $a_3 = \frac{v_{03}}{t_3}; a_3 = -\frac{8}{4} = -2 \text{ м/с}$.

2. Путь, пройденный за время движения, будет равен:

первый участок: $S_1 = S_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2}; S_0 = 0; v_0 = 0;$

$$S_1 = \frac{a_1 t_1^2}{2}; S_1 = \frac{1,6 \cdot 5^2}{2} = 20 \text{ м/с};$$

второй участок: $S_2 = vt_2 = 8 \cdot 10 = 80 \text{ м/с};$

третий участок: $S_3 = S_{03} + v_{03} t_3 + \frac{a_3 t_3^2}{2}; S_{03} = S_1 + S_2;$

$v_{03} = 8 \text{ м/с}; a_3 = -2 \text{ м/с}^2.$

Путь за время движения

$$S_{\Sigma} = S_3 = 100 + 8 \cdot 4 + \frac{-2 \cdot 4^2}{2} = 116 \text{ м}.$$

Пример 2. Тело, имевшее начальную скорость 36 км/ч, прошло 50 м до остановки. Считая движение равнозамедленным, определить время торможения.

Решение

1. Записываем уравнение скорости для равнозамедленного движения:

$v = v_0 + at = 0$.

Определяем начальную скорость в м/с: $v_0 = 36 \cdot 1000 / 3600 = 10 \text{ м/с}$.

Выразим ускорение (замедление) из уравнения скорости: $a = -v_0 / t$

2. Записываем уравнение пути: $S = v_0 t / 2 + at^2 / 2$. После подстановки получим: $S = v_0 t / 2$

3. Определяем время до полной остановки (время торможения):

$t = 2S / v_0 = 2 \cdot 50 / 10 = 10 \text{ с}$.

Порядок выполнения работы:

- 1 Рассмотреть теоретические положения.
- 2 Изучить методику определения центра тяжести прокатных профилей.
- 3 Выполнить расчет.
- 4 Сделать вывод.

Форма представления результата: защита практической работы

Критерии оценки:

Оценка 3 – верно определена скорость.

Оценка 4 – верно определены скорость и ускорения.

Оценка 5 – защита работы (определить координаты указанной преподавателем на схеметочки).

Тема 4.2 Растяжение и сжатие

Практическое занятие № 6 Расчет на прочность при растяжении и сжатии

Цель: в результате выполнения работы студент должен знать правила построения эпюр продольных сил и нормальных напряжений в поперечном сечении бруса, уметь с помощью метода сечений строить эпюры продольных сил и нормальных напряжений.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

У1.6.01 производить расчеты механических передач и простейших сборочных единиц;

У5.5.01 определять напряжения в конструкционных элементах.

Материальное обеспечение:

Конспект лекций, инструкция по выполнению работы, интернет-ресурсы, линейка, карандаш, ластик

Задание:

Рассчитать конструкцию на прочность.

Краткие теоретические сведения:

Необходимые формулы.

Нормальное напряжение

$$\sigma = \frac{N}{A},$$

где N — продольная сила; A — площадь поперечного сечения.

Удлинение (укорочение) бруса

$$\Delta l = \frac{Nl}{AE} \quad \text{или} \quad \Delta l = \frac{\sigma l}{E},$$

E — модуль упругости; l — начальная длина стержня.

Допускаемое напряжение

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{\text{пред}}}{[s]},$$

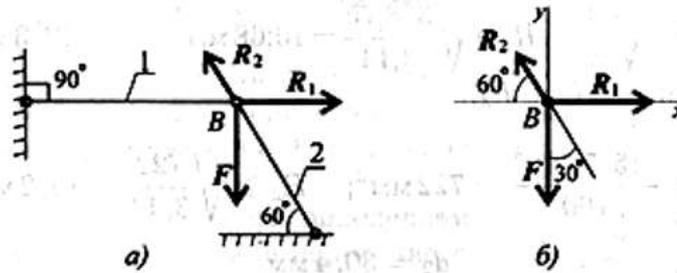
$[s]$ — допускаемый запас прочности.

Условие прочности при растяжении и сжатии:

$$\sigma = \frac{N}{A} \leq [\sigma].$$

Примеры расчетов на прочность и жесткость

Пример 1. Груз закреплен на стержнях и находится в равновесии (рисунок 1). Материал стержней — сталь, допускаемое напряжение 160 МПа. Вес груза 100 кН. Длина стержней: первого — 2 м, второго — 1 м. Определить размеры поперечного сечения и удлинение стержней. Форма поперечного сечения — круг.



а) с реакцией связи; б) без реакций связи
Рисунок 1 – Груз на стержне

Решение

Определить нагрузку на стержни. Рассмотрим равновесие точки \$B\$, определим реакции стержней. По пятой аксиоме статистики (закону действия и противодействия) реакция стержня численно равна нагрузке на стержень. Наносим реакции связей, действующих в точке \$B\$. Освобождаем точку \$B\$ от связей (рисунок 1, а). Выбираем систему координат так, чтобы одна из осей координат совпала с неизвестной силой (рисунок 1, б). Составим систему уравнений равновесия для точки \$B\$:

$$\begin{aligned} \sum F_x &= -R_2 \cos 60^\circ + R_1 = 0; \\ \sum F_y &= R_2 \cos 30^\circ - F = 0. \end{aligned}$$

Решаем систему уравнений и определяем реакции стержней.

$$R_2 = \frac{F}{\cos 30^\circ}; \quad R_2 = \frac{100}{0,866} = 115,5 \text{ кН.}$$

$$R_1 = R_2 \cos 60^\circ; \quad R_1 = 115,5 \cdot 0,5 = 57,4 \text{ кН.}$$

Направление реакций выбрано верно. Оба стержня сжаты. Нагрузки на стержни: \$F_1 = 57,4 \text{ кН}\$; \$F_2 = 115,5 \text{ кН}\$. Определяем требуемую площадь поперечного сечения стержней из условий прочности. Условие прочности на сжатие:

$$\sigma = N/A \leq [\sigma],$$

Откуда

$$A \geq \frac{N}{[\sigma]}.$$

Стержень 1 (\$N_1 = F_1\$):

$$A_1 \geq \frac{57,4 \cdot 10^3}{160} = 358,75 \text{ мм}^2.$$

Для круга

$$A = \pi R^2; \quad R = \sqrt{\frac{A}{\pi}}; \quad R_1 \geq \sqrt{\frac{358,75}{3,14}} = 10,68 \text{ мм}; \quad d_1 = 21,3 \text{ мм}.$$

Стержень 2 ($N_2 = F_2$):

$$A_2 \geq \frac{115,5 \cdot 10^3}{160} = 722 \text{ мм}^2; \quad R_2 \geq \sqrt{\frac{722}{3,14}} = 15,2 \text{ мм};$$

$$d_2 = 30,4 \text{ мм}.$$

Полученные диаметры округляем: $d_1 = 25 \text{ мм}$, $d_2 = 32 \text{ мм}$.

3. Определяем удлинение стержней

$$\Delta l = \frac{Nl}{AE}$$

Укорочение стержня 1:

$$A_1 = \frac{\pi d_1^2}{4}; \quad A_2 = \frac{3,14 \cdot 25^2}{4} = 490 \text{ мм}^2;$$

$$\Delta l_1 = \frac{57,4 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^5 \cdot 490} = 1,17 \text{ мм}.$$

Укорочение стержня 2:

$$A_2 = \frac{3,14 \cdot 32^2}{4} = 804 \text{ мм}^2; \quad \Delta l_2 = \frac{115,5 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^5 \cdot 804} = 0,72 \text{ мм}.$$

Порядок выполнения работы:

- 1 Рассмотреть теоретические положения
- 2 Изучить методику расчета на прочность при растяжении и сжатии
- 3 Выполнить расчет (по вариантам)
- 4 Сделать вывод

Форма представления результата: защита практической работы

Критерии оценки:

- Оценка 3 – верно определены реакции в опорах.
- Оценка 4 – верно определены нагрузки на стержни.
- Оценка 5 – устная защита работы по конспекту.

Тема 4.2 Растяжение и сжатие

Практическое занятие №7. Построение эпюр

Цель: в результате выполнения работы студент должен знать правила построения эпюр продольных сил и нормальных напряжений в поперечном сечении бруса, уметь с помощью метода сечений строить эпюры продольных сил и нормальных напряжений.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

У1.6.01 производить расчеты механических передач и простейших сборочных единиц;

У5.5.01 определять напряжения в конструкционных элементах.

Материальное обеспечение:

Конспект лекций, инструкция по выполнению работы, интернет-ресурсы, линейка, карандаш, ластик

Задание

Построить эпюры продольных сил и нормальных напряжений.

Краткие теоретические сведения:

Пример 1. Построить эпюры продольных сил и нормальных напряжений.

P_1	P_2	P_3	F_1	F_2	a	b	c
кН			мм ²	мм ²	м		
18	52	5	120	310	0,1	0,25	0,5

$$N_1 = P_1 = 18 \text{ кН.}$$

$$N_2 = P_1 + P_3 = 18 + 5 = 23 \text{ кН.}$$

$$N_3 = P_1 + P_3 - P_2 = 18 + 5 - 52 = -29 \text{ кН.}$$

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{F_1} = \frac{18000}{120 \cdot 10^{-6}} = 150 \text{ МПа.}$$

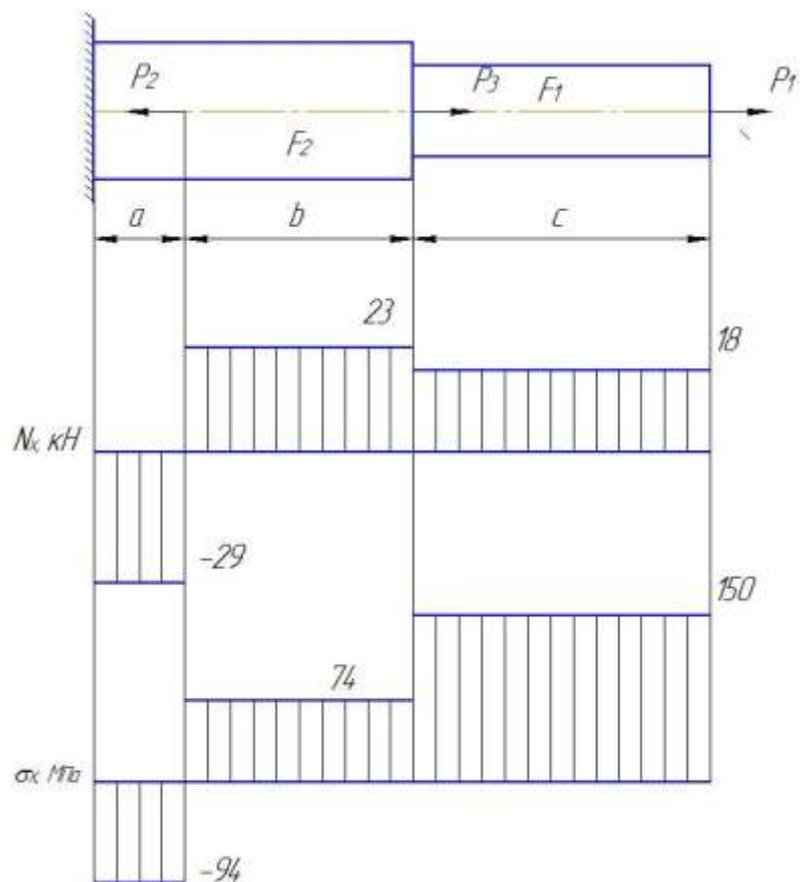
$$\sigma_2 = \frac{N_2}{F_2} = \frac{23000}{310 \cdot 10^{-6}} = 74 \text{ МПа.}$$

$$\sigma_3 = \frac{N_3}{F_2} = \frac{-29000}{310 \cdot 10^{-6}} = -94 \text{ МПа.}$$

$$\Delta l = \frac{1}{E} \left(\frac{N_1 \cdot l_1}{F_1} + \frac{N_2 \cdot l_2}{F_2} + \frac{N_3 \cdot l_3}{F_2} \right) = \frac{1}{2 \cdot 10^{11}} (150 \cdot 10^6 \cdot 0,5 + 74 \cdot 10^6 \cdot 0,25 - 94 \cdot 10^6 \cdot 0,1) = 4,21 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

Брус удлинился на 0,421 мм.

Эпюры продольных сил и нормальных напряжений показаны на рисунке 1.



Форма представления результата: защита практической работы

Критерии оценки:

- Оценка 3 – верно определены значения продольных сил и нормальных напряжений;
- Оценка 4 – верно построены эпюры продольных сил и нормальных напряжений;
- Оценка 5 – устная защита работы по конспекту.

Тема 4.2 Растяжение и сжатие

Лабораторное занятие №1.

Испытание образцов материалов на растяжение и сжатие

Цель: получение диаграммы растяжения стального образца для вычисления механических характеристик материала. Получение диаграммы сжатия для разных материалов для вычисления механических характеристик материалов.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

У1.6.01 производить расчеты механических передач и простейших сборочных единиц;

У5.5.01 определять напряжения в конструкционных элементах.

Материальное обеспечение:

Испытательный стенд виртуальной лабораторной работы приближенный к реальной установке «Разрывная машина ГСМ-50», Испытательный стенд виртуальной лабораторной работы приближенный к реальной установке «Пресс гидравлический ПГ-100», конспект лекций, линейка, карандаш, ластик

Задание:

- 1 построить диаграмму растяжения материала
- 2 построить диаграмму сжатия стали и древесины

Краткие теоретические сведения:

Испытания на растяжение позволяют получить достаточно полную информацию о механических свойствах материала. Для этого применяют специальные цилиндрические или плоские образцы. На рисунке 1. представлена схема цилиндрического образца на различных стадиях растяжения.

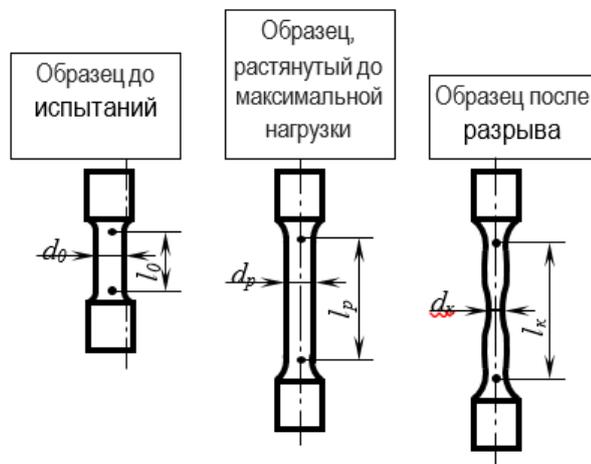


Рисунок 1 - Схема цилиндрического образца на различных стадиях растяжения

l_0, d_0 – начальные расчетные длина и диаметр образца;
 l_p, d_p – расчетные длина и диаметр образца в области равномерной деформации;
 l_k – конечная расчетная длина; d_k – минимальный диаметр в месте разрыва.

Согласно ГОСТ 1497-84, геометрические параметры образцов на растяжение должны отвечать следующим соотношениям:

$$\left. \begin{aligned} l_0 &= 2,82\sqrt{F_0} \\ l_0 &\cong 5,65\sqrt{F_0} \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{короткие} \\ \text{образцы} \end{array}$$

$$l_0 = 11,3\sqrt{F_0} \quad \begin{array}{l} \text{длинные} \\ \text{образцы} \end{array}$$

где,

F_0 – начальная площадь поперечного сечения расчетной части образца.

Для цилиндрических образцов **кратность образца** (l_0/d_0) = 2,5; 5; 10. Наиболее распространенным является образец с кратностью 5.

Перед испытанием образец закрепляют в вертикальном положении в захватах разрывной машины или гидравлического пресса.

По результатам испытания строится диаграмма растяжения, на которой по оси ординат откладывается усилие растяжения (кгс), а по оси абсцисс – абсолютное удлинение образца в мм.

Обычно испытательные машины снабжаются специальными регистрирующими приборами, автоматически записывающих диаграмму в координатах нагрузка-деформация.

На рисунке 2 представлены возможные варианты видов диаграмм растяжения в зависимости от состава и структуры испытываемого материала.

На диаграмме растяжения пластичного металла (рис.3) можно выделить несколько характерных участков.

Показатели упругости и прочности

На участке OA зависимость между нагрузкой P и удлинением выражается прямой линией. Такая зависимость между удлинением образца и приложенной нагрузкой называется законом пропорциональности (законом Гука):

$$\sigma = E \cdot \delta,$$

где

σ – условное напряжение, МПа;

E – модуль нормальной упругости, МПа;

δ – относительное удлинение, %

Наибольшее напряжение, которое может выдержать образец без отклонения от закона пропорциональности, называется **пределом пропорциональности** и определяется по формуле:

$$\sigma_{nc} = \frac{P_{nc}}{F_0},$$

где

σ_{nc} – предел упругости МПа;

$P_{нц}$ – нагрузка в точке А, Н;

F_0 – начальная площадь поперечного сечения образца, мм².

При дальнейшем нагружении образца наблюдается отклонение от закона пропорциональности: на диаграмме появляется криволинейный участок.

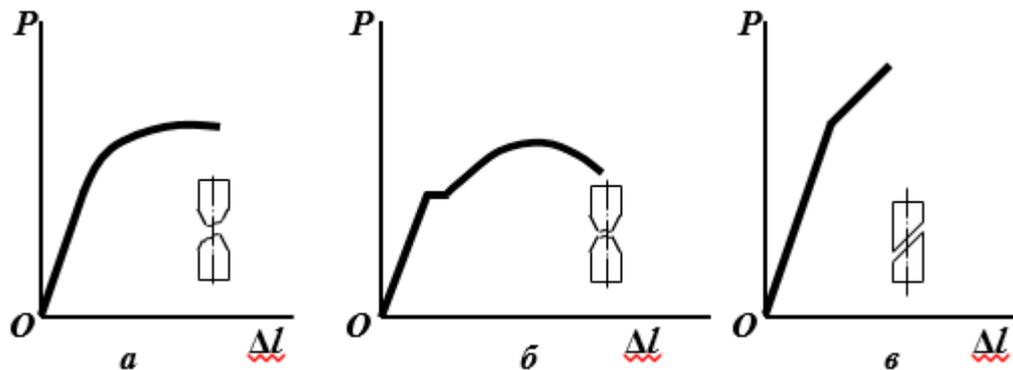


Рисунок 2 - Диаграмма растяжения:

- а – для большинства металлов (легированные стали, медь, бронза) в пластичном состоянии с постепенным переходом из упругой в пластическую область (отрыв);
- б – для мягкой углеродистой стали, отожженные марганцовистые и алюминиевые бронзы (образование шейки);
- в – для хрупких материалов типа закаленной стали, серого чугуна, стекла, бетона (срез)

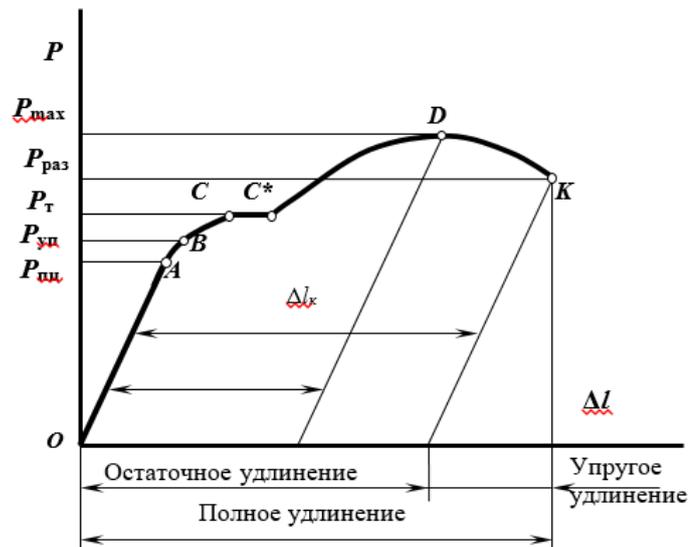


Рисунок 3 - Характерные участки и точки на диаграмме растяжения

До точки В, деформации являются упругими (исчезают после снятия нагрузки). Условное напряжение, соответствующее появлению первых признаков пластической деформации (остающей после снятия нагрузки) называется **пределом упругости**:

$$\sigma_{уп} = \frac{P_{уп}}{F_0}$$

$\sigma_{уп}$ – предел упругости МПа;

$P_{уп}$ – нагрузка в точке В, Н;

F_0 – начальная площадь поперечного сечения образца, мм².

Точки A и B лежат обычно близко друг от друга, поэтому на практике для стали $\sigma_{ну} \approx \sigma_{ун}$. Точкой C на диаграмме отмечено начало горизонтальной площадки (площадки текучести), которая соответствует удлинению образца без заметного увеличения нагрузки. Наименьшее напряжение, при котором без заметного увеличения нагрузки продолжается деформация испытуемого образца называется **физическим пределом текучести**:

$$\sigma_T = \frac{P_T}{F_0}$$

P_T – нагрузка в точке C , Н;

Текучесть характерна только для малоуглеродистой отожженной стали и некоторых марок латуни (рис. 2, б). Высокоуглеродистые стали и другие металлы не имеют площадки текучести, для них определяется условный предел текучести. **Условный предел текучести** – напряжение при котором растягиваемый образец получает остаточное удлинение, равное 0,2% от начальной длины:

$$\sigma_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{F_0}$$

$\sigma_{0,2}$ – условный предел текучести, МПа;

$P_{0,2}$ – нагрузка, соответствующая остаточному удлинению

$$\Delta l_{0,2} = 0,002l_0$$

Точка D показывает наибольшую нагрузку, которую может выдержать образец без разрушения. Условное напряжение, отвечающее наибольшей нагрузке, предшествующей разрушению образца, называется **пределом прочности при растяжении**:

$$\sigma_B = \frac{P_{max}}{F_0}$$

σ_B – предел прочности (временное сопротивление разрыву), МПа;

P_{max} – нагрузка, предшествующая разрушению, Н.

Хрупкие материалы при нагрузке разрушаются.

В пластичных материалах при достижении этой нагрузки образуется сильное местное сужение, образуется «шейка». Равномерная пластическая деформация переходит в местную, сосредоточенную в шейке.

В точке K происходит разрушение образца. Напряжение, определяемое отношением нагрузки $P_{раз}$ в момент разрыва к площади поперечного сечения образца в месте разрыва называется истинным сопротивлением разрыву S :

$$S = \frac{P_{раз}}{F_K}$$

$P_{раз}$ – нагрузка, в момент разрыва образца, Н;

F_K – площадь поперечного сечения образца после разрыва, мм²

Показатели пластичности

Кроме прочностных характеристик при испытании на растяжение определяют показатели пластичности: относительное удлинение и относительное сужение образца.

Относительное удлинение после разрыва δ , (%) – наибольшее удлинение, до

которого образец деформируется после разрушения.

$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} \cdot 100\% = \frac{\Delta l_{ocm}}{l_0} \cdot 100\%$$

l_0 и l_k – начальная и конечная длина образца, мм;

Δl_{ocm} – абсолютное удлинение образца, определяемое измерением образца после разрыва, мм.

Отношение уменьшения площади поперечного сечения образца в месте разрыва к начальной площади поперечного сечения называется **относительным сужением после разрыва ψ , (%)**.

$$\psi = \frac{F_0 - F_k}{F_0} \cdot 100\%$$

F_0 – начальная площадь поперечного сечения образца мм²;

F_k – конечная площадь поперечного сечения образца мм².

Ход работы

1. Ознакомится со стандартными образцами металлов на растяжение.
2. Измерить штангенциркулем начальный диаметр образца d_0 .
3. Определить площадь поперечного сечения образца.
4. Определить расчетную длину образца.
5. Нанести на образец расчетную длину образца l_0 .
6. Вставить и закрепить образец в захватах гидравлического пресса. Произвести разрушение образца, зафиксировав по манометру максимальное давление на поршень гидравлического пресса $P_{max. пресса}$, кгс/см².
7. Измерить диаметр поршня гидравлического пресса и рассчитать силу $P_{max.}$, приложенную к испытываемому образцу:

$$P_{max.} = P_{max. пресса} \cdot S$$

где S – площадь поршня гидравлического пресса.

8. **Рассчитать предел прочности образца.**
9. Определить длину образца после разрыва l_k , сложив вместе разорванные части и измерив штангенциркулем расстояние между метками.
10. **Вычислить относительное удлинение образца.**
11. Измерить диаметр образца в месте разрыва d_k по двум взаимно перпендикулярным направлениям (плотно сложив обе части разорванного образца). По среднему арифметическому двух значений вычислить площадь образца после разрыва F_k .
12. **Рассчитать относительное сужение образца** после разрыва.

Результаты испытаний оформить в виде протокола испытания.

Таблица

Протокол испытания образца на растяжение

Измеряемые значения				Рассчитанные значения						
До испытаний		После испытаний		$P_{max. пресса}$	P_{max}	F_0 , мм ²	F_k , мм ²	σ_B , МПа	ψ , (%)	δ , (%)
l_0 , мм	d_0 , мм	l_k , мм	d_k , мм							

Форма представления результата: защита практической работы

Критерии оценки:

Оценка 3 – верно построена диаграмма растяжения.

Оценка 4 – верно определены характеристики материала.

Оценка 5 – устная защита работы по конспекту.

Тема 4.5. Изгиб
Практическое занятие №8.
Эпюры поперечных сил и изгибающих моментов

Цель: иметь представление о видах изгиба и внутренних силовых факторах в сечении при изгибе. Знать методы определения внутренних силовых факторов и уметь ими пользоваться. Знать основные правила и порядок построения эпюр поперечных сил и изгибающих моментов. Уметь строить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

У1.6.01 производить расчеты механических передач и простейших сборочных единиц;

У5.5.01 определять напряжения в конструкционных элементах.

Материальное обеспечение:

Конспект лекций, инструкция по выполнению работы, интернет-ресурсы, линейка, карандаш, ластик

Задание:

По методу сечений построить эпюры изгибающих моментов и поперечной силы. Определить опасное сечение.

Краткие теоретические сведения:

Пример. На двух опорную балку действуют сосредоточенные силы и моменты (рисунок 1). Построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов.

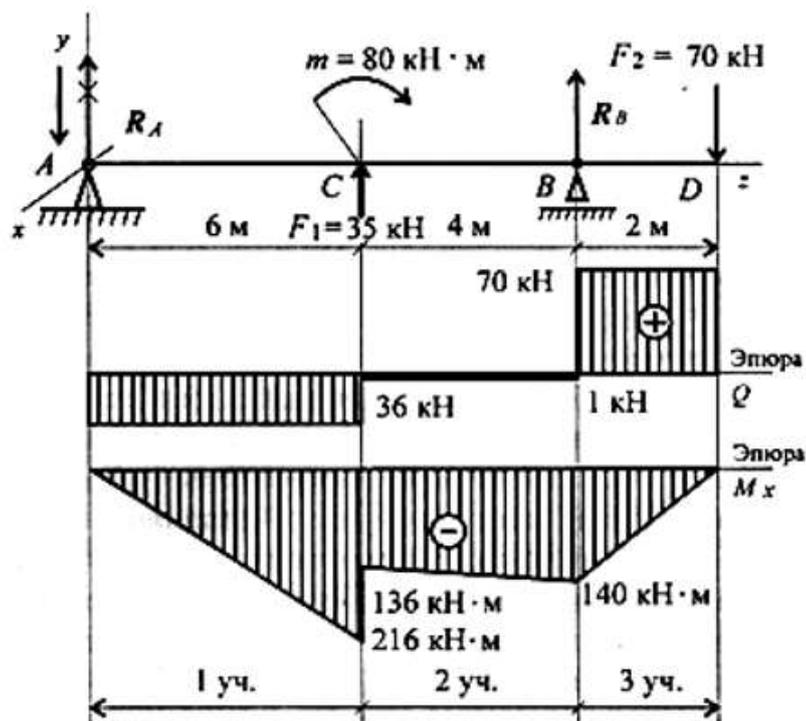


Рисунок 1 – Эпюры поперечных сил и изгибающих моментов 2-х опорной балки

Для двух опорной балки построение эпюр начинают с определения опорных реакций балки. Для их определения используем систему уравнений равновесия, составляем два уравнения моментов относительно шарнирных опор. Затем проводим проверку правильности решения по уравнению

$$\sum_0^n F_{ky} = 0$$

Решение

Определение реакций в опорах.

Уравнения равновесия:

$$\begin{aligned} \sum m_A = 0; & -F_1 \cdot 6 + m - R_B \cdot 10 + F_2 \cdot 12 = 0; \\ & -35 \cdot 6 + 80 - R_B \cdot 10 + 70 \cdot 12 = 0; \\ & R_B \cdot 10 = -210 + 80 + 840; \\ & R_B = 71 \text{ кН.} \\ \sum m_B = 0; & R_A \cdot 10 + F_1 \cdot 4 + m + F_2 \cdot 2 = 0; \\ & R_A \cdot 10 + 80 + 35 \cdot 4 + 70 \cdot 2 = 0; \\ & R_A \cdot 10 = -80 - 140 - 140 = -360; \\ & R_A = -36 \text{ кН.} \end{aligned}$$

Реакция в опоре направлена в обратную сторону.

$$\text{Проверка: } \sum F_y = 0;$$

$$-R_A + F_1 + R_B - F_2 = 0; \quad -36 + 35 + 71 - 70 = 0.$$

Реакции определены верно.

Для упрощения расчетов при построении эпюр поперечных сил и изгибающих моментов можно провести расчет по *характерным точкам* без составления уравнений.

Для этого используют известные связи между поперечной силой и изгибающим моментом и правила построения эпюр.

Участок 1 (от точки *A* до точки *C*).

В точке *A* приложена реакция R_A , направленная вниз. Поперечная сила на участке постоянна: $Q_1 = R_A = -36 \text{ кН}$.

Момент в точке *A* равен нулю.

Точка *C* (слева). Приложена внешняя сила $F_1 = 35 \text{ кН}$, направленная вверх, — здесь возникнет скачок вверх на величину 35 кН. Момент в точке *C* (слева) может быть рассчитан по известной зависимости

$$M_C^{\text{слева}} = -R_A \cdot 6; \quad M_C^{\text{слева}} = -36 \cdot 6 = -216 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Участок 2 (от точки *C* справа до точки *B*).

$$\begin{aligned} \text{Поперечная сила в точке } C \text{ (справа) равна } Q_C^{\text{справа}} &= -R_A + F_1; \\ Q_C^{\text{справа}} &= -36 + 35 = -1 \text{ кН.} \end{aligned}$$

В точке *C* приложена внешняя пара сил с моментом 80 кН·м, следовательно, здесь проявляется скачок на величину приложенного момента:

$$M_C^{\text{справа}} = M_C^{\text{слева}} + m; \quad M_C^{\text{справа}} = -216 + 80 = -136 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Поперечная сила на втором участке постоянна: $Q_2 = Q_C^{\text{справа}}$.

Момент в точке *B* определяется по зависимости $M_B = -R_A \cdot 10 + F_1 \cdot 4 + m$; $M_B = -36$

• $10 + 35 \cdot 4 + 80 = -140 \text{ кН-м}$.

Справа и слева от точки B момент имеет одинаковые значения.

Участок 3 (от точки B (справа) до точки D).

В точке B приложена внешняя сила R_B . Здесь появляется скачок на величину 71 кН,
 $Q_B = -1 + 71 = 70 \text{ кН}$.

Дальше по участку поперечная сила не изменяется. Момент в точке D равен нулю, т. к. здесь не приложена внешняя пара сил: $M_D = 0$.

Рассмотрение поперечных сил и изгибающих моментов можно было провести слева направо или справа налево.

По полученным значениям сил и моментов строим эпюры (эпюры под схемой вала, рисунок 1).

Порядок выполнения работы:

По алгоритму выполнить решение.

Форма представления результата: защита практической работы

Критерии оценки:

Оценка 3 – верно определены поперечные силы участков.

Оценка 4 – верно определены моменты изгибов.

Оценка 5 – устная защита работы по конспекту.

Практическое занятие № 9
Расчет на прочность при изгибе.

Цель: иметь представление о видах изгиба и внутренних силовых факторах в сечении при изгибе. Знать методы определения внутренних силовых факторов и уметь ими пользоваться. Знать основные правила и порядок построения эпюр поперечных сил и изгибающих моментов. Уметь строить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

У1.6.01 производить расчеты механических передач и простейших сборочных единиц;

У5.5.01 определять напряжения в конструкционных элементах.

Материальное обеспечение:

Конспект лекций, инструкция по выполнению работы, интернет-ресурсы, линейка, карандаш, ластик

Задание:

По методу сечений построить эпюры изгибающих моментов и поперечной силы. Определить опасное сечение. Проверить балку на прочность.

Краткие теоретические сведения:

Ведомый вал цилиндрического редуктора (рисунок 1)

Материал Ст.45 нормализованная

$T_2=158$ Нм.

$\sigma_B = 590$ МПа; $\Psi_\sigma = 0,2$; $K_\sigma = 1,75$; $K_\tau = 1,5$; $\Psi_\tau = 0,1$; $\varepsilon_\sigma = 0,8$; $\varepsilon_\tau = 0,7$;

$$\sigma_{-1} = 0,43\sigma_B = 254 \text{ МПа};$$

$$\tau_{-1} = 0,58\sigma_{-1} = 147 \text{ МПа.}$$

Изгибающие моменты

$$M_{x3} = M_{x4} = -R_{x3}l_2 = -53 \text{ Н.}$$

$$-6 \text{ Нм}; \quad M_{y3} = R_{y3}l_2 =$$

$$M_{y4} = -R_{y4}l_2 = 45 \text{ Нм.}$$

Суммарный изгибающий момент

$$M_u = \sqrt{M_{x \max}^2 + M_{y \max}^2} =$$

69 Нм;

$$W_{Кнетто} = \frac{\pi d^3}{16} - \frac{bt_1(d-t_1)^2}{2d} = 16557 \text{ мм}^3;$$

$$W_{Инетто} = \frac{\pi d^3}{32} - \frac{bt_1(d-t_1)^2}{2d} = 7611 \text{ мм}^3;$$

$$\tau_v = \tau_m = \frac{T_2}{2W_{Кнетто}} = 4,78 \text{ МПа.}$$

$$\sigma_m = 0;$$

$$\sigma_v = \frac{M_u}{W_u} = 9,1 \text{ МПа.}$$

Коэффициент запаса прочности по нормальным напряжениям

$$n_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\frac{K_\sigma}{\varepsilon_\sigma} \sigma_v + \psi_\sigma \sigma_m} = 12,7.$$

Коэффициент запаса прочности по касательным напряжениям

$$n_\tau = \frac{\tau_{-1}}{\frac{k_\tau}{\varepsilon_\tau} \tau_v + \psi_\tau \tau_m} = 13,7.$$

Результирующий коэффициент запаса прочности

$$n = \frac{n_\sigma n_\tau}{\sqrt{n_\sigma^2 + n_\tau^2}} = 9,3 > [n] = 1,6.$$

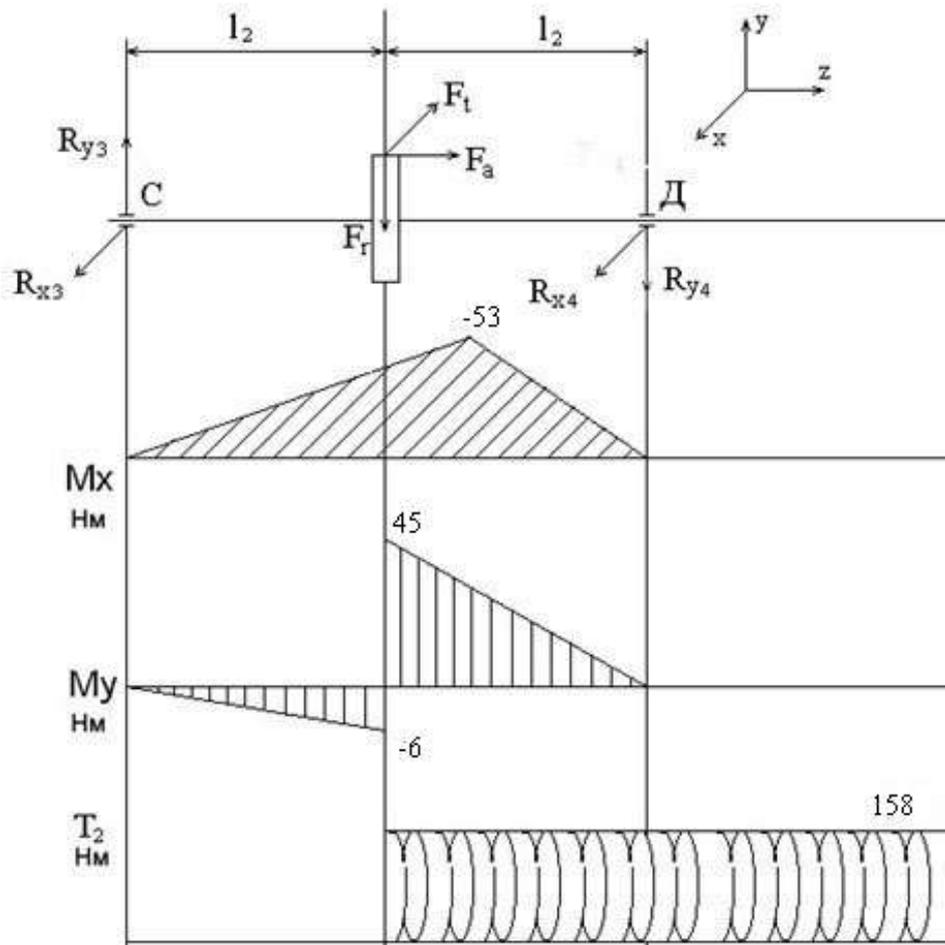


Рисунок 1 - Ведомый вал редуктора

Порядок выполнения работы:

- 1 Рассмотреть теоретические положения
- 2 Изучить методику расчета на прочность при изгибе
- 3 Выполнить расчет

Форма представления результата:

защита практической работы

Критерии оценки:

- Оценка 3 – верно определены моменты изгибов..
- Оценка 4 – верно определены коэффициенты запаса прочности.
- Оценка 5 – устная защита работы по конспекту.

Тема 5.1 Основные положения. Общие сведения о передачах.
Фрикционные передачи и вариаторы
Практическое занятие № 10
Расчет основных кинематических соотношений в приводах

Цель: иметь представление о приводах устройств. Знать методы определения кинематических соотношений в приводах и уметь ими пользоваться. Уметь выбирать электродвигатель по требуемой мощности.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

У1.6.01 производить расчеты механических передач и простейших сборочных единиц;

Материальное обеспечение:

Конспект лекций, инструкция по выполнению работы, интернет-ресурсы, линейка, карандаш, ластик

Задание:

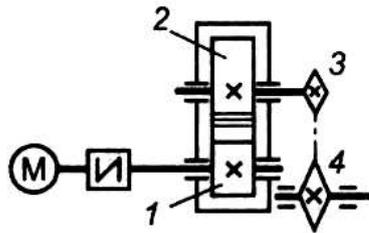
Выполнить кинематические расчеты по вариантам.

Краткие теоретические сведения:

Пример. В приводе с цепной передачей (рисунок 1) $P=7,9$ кВт; $V=1,5$ м/с:

1 Выбрать электродвигатель.

2 Выполнить кинематические расчеты.



1 – быстроходный вал; 2 – тихоходный вал; 3 – ведущая звездочка;
4 – ведомая звездочка

Рисунок 1 – Привод с цепной передачей

Решение.

Общий КПД привода:

$$\eta = \eta_{ц} \cdot \eta_{оп} \cdot \eta_{пк}^3 = 0,98 \cdot 0,92 \cdot 0,99^3 = 0,875.$$

где $\eta_{ц}$ – КПД закрытой цилиндрической передачи, $\eta_{ц} = 0,98$;

$\eta_{оп}$ – КПД открытой цепной передачи, $\eta_{оп} = 0,92$;

$\eta_{пк}$ – КПД одной пары подшипников качения $\eta_{пк} = 0,99$.

Требуемая мощность электродвигателя:

$$N_{тр} = \frac{P \cdot V}{\eta} = \frac{7,9 \cdot 1,5}{0,875} = 13,55 \text{ кВт.}$$

Угловая скорость барабана:

$$\omega_6 = \frac{2 \cdot V}{D_6} = \frac{2 \cdot 1,5}{0,5} = 6 \text{ рад/с}$$

Частота вращения:

$$n_6 = \frac{30 \cdot \omega}{\pi} = \frac{30 \cdot 6}{3,14} = 57,3 \text{ об/мин.}$$

По требуемой мощности выбираем электродвигатель 4А160М6/970:

$N_{дв} = 15$ кВт; $n_{дв} = 970$ об/мин.

Передаточное отношение:

$$u = \frac{n_{дв}}{n_Б} = \frac{970}{57,3} = 16,9.$$

Намечаем частные передаточные отношения:

редуктора $u_p=4$.

цепной передачи $u_{цеп}=u/u_p= 16,9/4=4,23$.

Частоты вращения и угловые скорости валов редуктора и барабана:

$$n_1=n_{дв}= 970 \text{ об/мин.}$$

$$\omega_1 = \frac{\pi \cdot n_1}{30} = \frac{3,14 \cdot 970}{30} = 101,6 \text{ об/мин.}$$

$$n_2 = \frac{n_1}{u_p} = \frac{970}{4} = 242,5 \text{ об/мин.}$$

$$\omega_2 = \frac{\omega_1}{u_p} = \frac{101,6}{4} = 25,4 \text{ об/мин.}$$

Вращающий момент на валу шестерни редуктора:

$$T_1 = \frac{N_{дв}}{\omega_1} = \frac{15000}{101,6} = 147,7 \text{ Нм.}$$

Вращающий момент на валу колеса:

$$T_2 = T_1 u_p \eta_p = 147,7 \cdot 4 \cdot 0,875 = 516,7 \text{ Нм.}$$

$$T_2 = T_1 \cdot u_p \cdot \eta = 147,7 \cdot 4 \cdot 0,875 = 516,7 \text{ Нм.}$$

Результаты кинематических расчетов сведены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты кинематических расчетов

Вал редуктора	Вращающий момент, Нм	Частота вращения, об/мин	Угловая скорость, с ⁻¹
Быстроходный	147,7	970	101,6
Тихоходный	516,7	242,5	25,4

Порядок выполнения работы:

- 1 Рассмотреть теоретические положения.
- 2 Изучить методику расчета кинематических соотношений в приводах.
- 3 Выполнить расчет.
- 4 Сделать вывод.

Форма представления результата: защита практической работы

Критерии оценки:

- Оценка 3 – верно определены скорости;
- Оценка 4 – верно определены крутящие моменты;
- Оценка 5 – устная защита работы по конспекту.

Тема 5.2 Зубчатые передачи Общие сведения о редукторах

Практическое занятие № 11

Составление кинематических схем приводов

Цель: иметь представление о приводах устройств. Знать методы составления кинематических схем приводов и уметь ими пользоваться. Уметь выбирать редуктор для привода.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

У1.6.01 производить расчеты механических передач и простейших сборочных единиц;

Материальное обеспечение:

Конспект лекций, инструкция по выполнению работы, интернет-ресурсы, линейка, карандаш, ластик

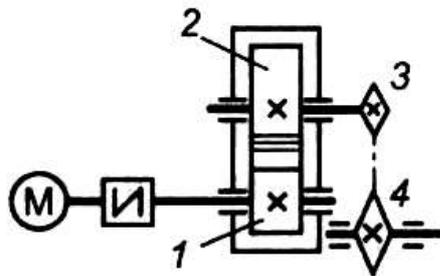
Задание:

Составить кинематические схемы приводов:

1. с цилиндрическим редуктором и ременной передачей;
2. с коническим редуктором и цепной передачей;
3. с червячным редуктором и цепной передачей.

Краткие теоретические сведения:

На рисунке 1 представлен привод с цепной передачей.



1 – быстроходный вал; 2 – тихоходный вал; 3 – ведущая звездочка;
4 – ведомая звездочка

Рисунок 1 – Привод с цепной передачей

Наиболее распространены схемы редукторов, изображены на рисунке 2.

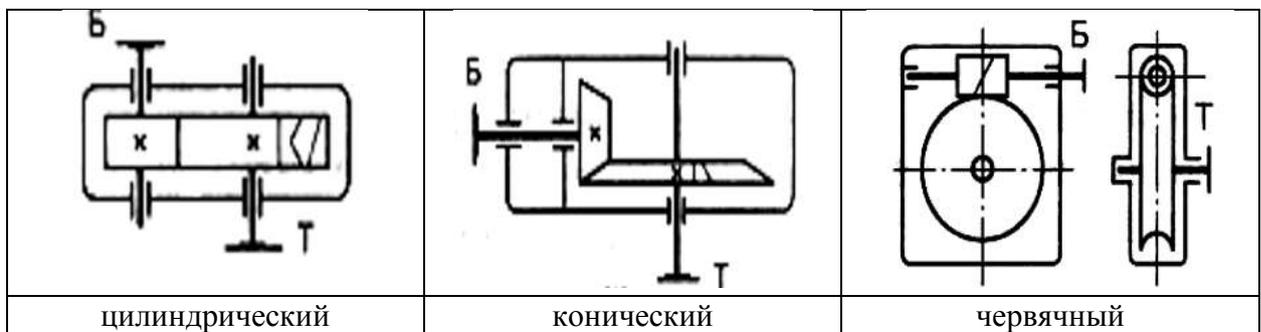


Рисунок 1 – Кинематические схемы редукторов

Порядок выполнения работы:

- 1 Рассмотреть теоретические положения.
- 2 Изучить методику построения кинематических схем приводов.
- 3 Выполнить задание.
- 4 Сделать вывод.

Форма представления результата: защита практической работы

Критерии оценки:

Оценка 3 – верно составлена одна схема;

Оценка 4 – верно составлены две схемы;

Оценка 5 – верно составлены все схемы и устно защищена работа по конспекту.

Тема 5.2 Зубчатые передачи Общие сведения о редукторах.

Практическое занятие № 12.

Изучение конструкций различных типов редукторов

Цель: иметь представление о различных типах редукторов. Знать методы составления кинематических схем редукторов. Уметь выбирать редуктор для привода.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

У1.6.01 производить расчеты механических передач и простейших сборочных единиц;

У1.1.03 читать кинематические схемы;

Материальное обеспечение:

Конспект лекций, инструкция по выполнению работы, интернет-ресурсы, линейка, карандаш, ластик

Задание:

Составить кинематическую схему предложенного редуктора и описать его назначение и конструкцию.

Краткие теоретические сведения:

1. Назначение редукторов

Традиционная схема главного привода прокатного стана включает редуктор, который обеспечивает необходимое передаточное число между электродвигателем и рабочей клетью. Во многих случаях, когда передаточное число редуктора меньше четырех и мощность привода невелика, редуктор объединяют с шестеренной клетью в одном корпусе. Как правило, такие комбинированные шестеренные клетки-редукторы изготавливают для многовалковых станков. Редуктор применяют при частоте вращения рабочих валков менее 250 об/мин. При большем числе оборотов выгодней привод с тихоходным электродвигателем без редуктора. У крупных часто реверсируемых станков (например, у толстолистовых) редукторы не применяются, поскольку тихоходный электродвигатель легче реверсируется.

Редуктор - механизм, предназначенный для передачи вращения от электродвигателя к исполнительным механизмам для уменьшения угловой скорости и увеличения крутящего момента.

2. Типы редукторов

Тип редуктора определяют по виду зубчатых передач и для обозначения применяют прописные буквы:

- Ц — цилиндрические;
- К — конические;
- Ч — червячные;
- КЦ — коническо – цилиндрические и т.д.

По числу ступеней редукторы бывают:

- одноступенчатые;
- двухступенчатые;
- трехступенчатые

3. Кинематические схемы редукторов

Наиболее распространенные схемы редукторов, изображены на рисунке 1.

На рис. 1,а изображен одноступенчатый цилиндрический редуктор. Такие

редукторы выпускают с прямозубыми, косозубыми и шевронными колесами. Двухступенчатые редукторы выполняют по развернутой (рис.1,б) и соосной схемам (рис. 1,в). Соосные редукторы удобны, если нужно получить одну линию валов соединяемых механизмов, имеют малые габаритные размеры по длине, в них достигается одинаковое смазывание колес из ванны, при этом увеличиваются габаритные размеры вдоль осей валов. Широкие редукторы обозначаются буквой Ш, узкие - У, соосные - С. Для улучшения условий работы тихоходной ступени используют редукторы с раздвоенной быстроходной ступенью (рис. 1,г), редукторы с раздвоенной ступенью обозначаются буквой Ш.

Трехступенчатые редукторы выполняют по развернутой (рис. 1,д) и раздвоенной (рис. 1,е) схемам.

Если компоновка машины требует взаимной перпендикулярности осей входного и выходного валов, применяют конические (рис. 1,ж) или коническо-цилиндрические (рис. 1,з) редукторы.

Большие передаточные отношения, плавность, бесшумность и возможность самоторможения обеспечивают червячные редукторы (рисунок 2). Высокое передаточное отношение при низком уровне шума имеют двухступенчатые червячные и червячно-цилиндрические редукторы.

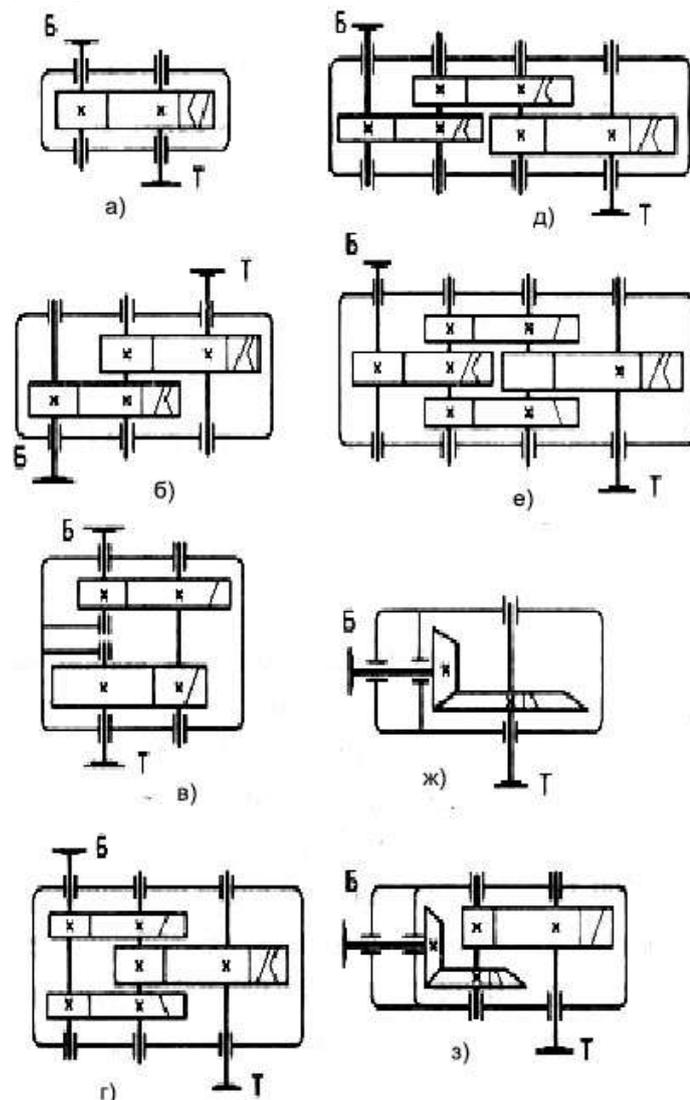


Рисунок 1 - Наиболее распространенные схемы зубчатых редукторов: а — одноступенчатый; б — двухступенчатый развернутый; в — двухступенчатый соосный; г

— двухступенчатый с раздвоенной ступенью; д — трехступенчатый развернутый; е — трехступенчатый с раздвоенной промежуточной ступенью;

ж — конический; з — коническо-цилиндрический

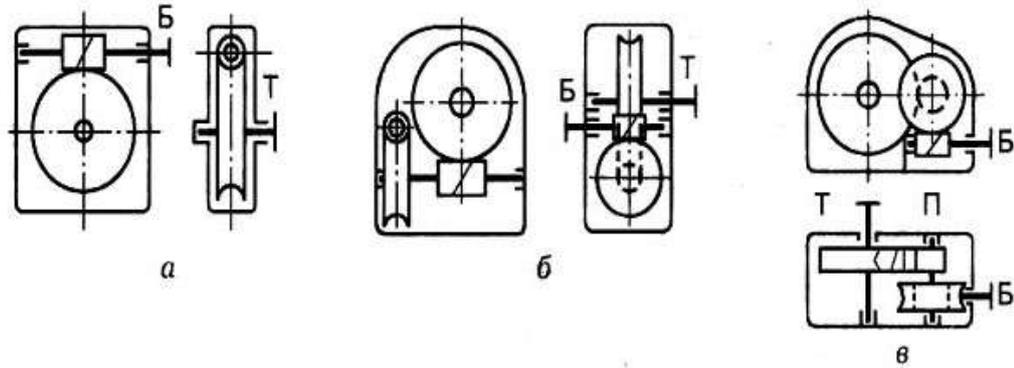


Рисунок 2 - Схемы червячных редукторов: а — одноступенчатый; б — двухступенчатый; в — червячно-цилиндрический

Червячные редукторы выпускают с нижним (рис. 3,а), верхним (рис.3,б), боковым (рис.3,в) или вертикальным (рис.3,г) расположением червяка.

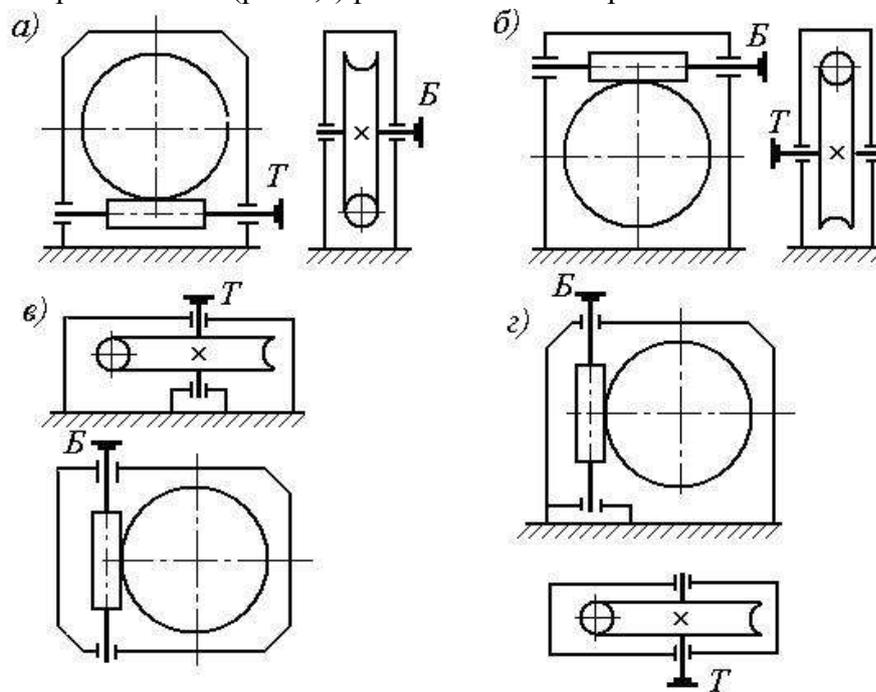


Рисунок 3 - Схемы червячных редукторов:
а — нижний червяк; б — верхний червяк;
в — боковой червяк; г — вертикальный червяк;

Основные недостатки червячных редукторов — низкий КПД и малый ресурс работы.

4. Конструкция редукторов

В технике применяются одно - (при частоте вращения рабочих валков 200...250 об/мин), двух- (40...50 об/мин) и очень редко трехступенчатые (10...15 об/мин) редукторы. Из двухступенчатых цилиндрических редукторов применяют редукторы, выполненные по раздвоенной схеме (рисунок 4).

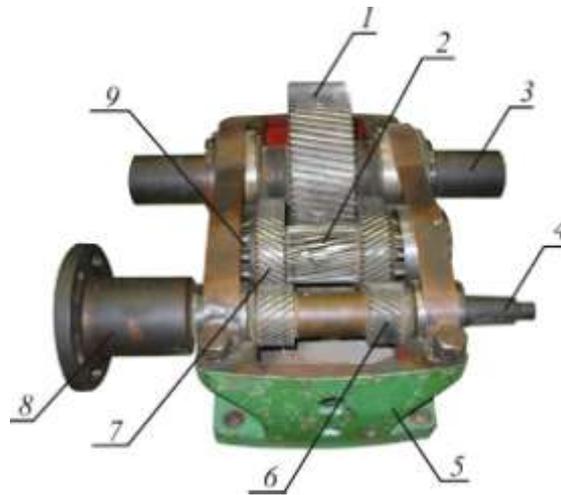


Рисунок 4 - Редуктор двухступенчатый цилиндрический: 1, 7 — зубчатые колеса; 2, 6 — шестерни; 3, 4 — тихоходный и быстроходный валы; 5 — корпус; 8 — полумуфта; 9 — подшипник

Порядок выполнения работы:

- 1 Рассмотреть теоретические положения.
- 2 Изучить кинематические схемы редукторов и их конструкцию.
- 3 Составить кинематическую схему предложенного редуктора.
- 4 Сделать вывод.

Форма представления результата: защита практической работы

Критерии оценки:

- Оценка 3 – верно описана часть деталей редуктора;
- Оценка 4 – верно описаны все детали редуктора;
- Оценка 5 – работа устно защищена по конспекту.

Тема 5.3 Валы и оси. Опоры валов и осей

Лабораторное занятие №2.

Изучение конструкций различных типов подшипников

Цель работы: получить практические навыки определения типа подшипника качения, изучения конструкции, маркировки.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

У1.1.03 читать кинематические схемы;

Материальное обеспечение:

Конспект лекций, инструкция по выполнению работы, интернет-ресурсы, линейка, карандаш, ластик

Задание: Изучить маркировку подшипников качения. Получить у преподавателя модель подшипника и изучить его конструкцию.

Краткие теоретические сведения:

Назначение подшипников – поддерживать вращающиеся валы и оси в пространстве, обеспечивая им возможность вращения или качения, и воспринимать действующую на них нагрузку.

Подшипники качения – это опоры вращающихся или качающихся деталей, использующие элементы качения (шарики, ролики, иглы) и работающие на основе трения качения.

Электродвигатели, подъемно-транспортные и сельскохозяйственные машины, летательные аппараты, локомотивы, вагоны, металлорежущие станки, зубчатые редукторы и многие другие механизмы и машины в настоящее время немыслимы без подшипников качения.

Подшипники качения состоят из двух колец — внутреннего 1 и наружного 3, тел качения 2 (шариков или роликов) и сепаратора 4 (рис. 1, а). В зависимости от формы тел качения различают подшипники шариковые (рис. 1, б, в, г, и) и роликовые (рис. 1, е, з, к). Разновидностью роликовых подшипников являются игольчатые подшипники (рис. 1, д).

Основными элементами подшипников качения являются тела качения — шарики или ролики, установленные между кольцами и удерживаемые сепаратором на определенном расстоянии друг от друга.

Достоинства подшипников качения:

- низкое трение, низкий нагрев;
- экономия смазки;
- высокий уровень стандартизации;
- экономия дорогих антифрикционных материалов.

Недостатки подшипников качения:

- высокие контактные напряжения, и поэтому ограниченный срок службы;
- высокие габариты (особенно радиальные) и вес;
- высокие требования к оптимизации выбора типоразмера;
- большая чувствительность к ударным нагрузкам вследствие большой жесткости конструкции;
- повышенный шум;
- слабая виброзащита, более того, подшипники сами являются генераторами

вибрации за счёт даже очень малой неизбежной разноразмерности тел качения.

Материалы. Материалы подшипников качения назначаются с учётом высоких требований к твёрдости и износостойкости колец и тел качения. Здесь используются шарикоподшипниковые высокоуглеродистые хромистые стали ШХ15 и ШХ15СГ, а также цементируемые легированные стали 18ХГТ и 20Х2Н4А. Твёрдость колец и роликов обычно *HRC* 60...65, а у шариков немного больше – *HRC* 62... 66, поскольку площадка контактного давления у шарика меньше. Сепараторы изготавливают из мягких углеродистых сталей либо из антифрикционных бронз для высокоскоростных подшипников. Широко внедряются сепараторы из дюралюминия, металлокерамики, текстолита, пластмасс.

Для обеспечения нормальной и долговечной работы подшипников качения к качеству их изготовления и термической обработке тел качения и колец предъявляют высокие требования.

Подшипники качения — это опоры вращающихся или качающихся деталей. Подшипники качения в отличие от подшипников скольжения стандартизованы. Подшипники качения различных конструкций (диапазон наружных диаметров 1,0—2600 мм, масса 0,5—3,5 т, например, микроподшипники с шариками диаметром 0,35 мм и подшипники с шариками диаметром 203 мм) изготавливают на специализированных подшипниковых заводах.

Выпускаемые в СНГ подшипники качения классифицируют по способности воспринимать нагрузку — радиальные, радиально-упорные, упорно-радиальные и упорные.

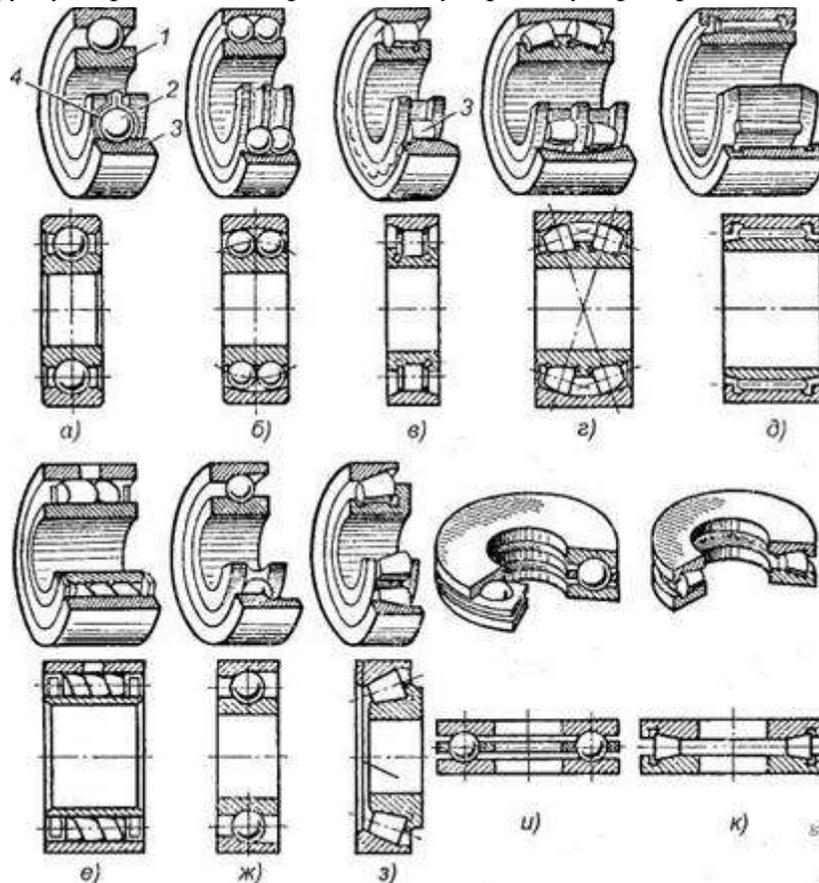


Рисунок 1 - Подшипники качения: а, б, в, г, д, е — радиальные подшипники; ж, з — радиально-упорные подшипники; и, к — упорные подшипники; 1 — внутреннее кольцо; 2 — тело качения; 3 — наружное кольцо; 4 — сепаратор.

Радиальные подшипники (см. рис. 1, *а—е*) воспринимают (в основном) радиальную нагрузку, т. е. нагрузку, направленную перпендикулярно к геометрической оси вала.

Упорные подшипники (см. рис. 1, *и, к*) воспринимают только осевую нагрузку.

Радиально-упорные (см. рис. 1, *ж, з*) и упорно-радиальные подшипники могут одновременно воспринимать как радиальную, так и осевую нагрузку. При этом упорно-радиальные подшипники предназначены для преобладающей осевой нагрузки.

В зависимости от соотношения размеров наружного и внутреннего диаметров, а также ширины подшипники делят на серии: сверхлегкую, особо легкую, легкую, среднюю, тяжелую, легкую широкую, среднюю широкую.

В зависимости от серии при одном и том же внутреннем диаметре кольца подшипника наружный диаметр кольца и его ширина изменяются.

*По форме тел качения подшипники делят на шариковые (см. рис. 1, *а, б, ж, и*), с цилиндрическими роликами (см. рис. 1, *в*), с коническими роликами (см. рис. 16, *з, к*), игольчатые (см. рис. 1, *д*), с витыми роликами (см. рис. 1, *е*), с бочкообразными роликами (сферическими) (см. рис. 1, *г*). Тела качения игольчатых подшипников тонкие ролики — иглы диаметром 1,6—5 мм. Длина игл в 5—10 раз больше их диаметра. Сепараторы в игольчатых подшипниках отсутствуют.*

*По числу рядов тел качения различают однорядные (см. рис. 1, *а, в, д—к*) и двухрядные (см. рис. 1, *б, г*) подшипники качения.*

По конструктивным и эксплуатационным признакам подшипники делят на самоустанавливающиеся (см. рис. 1, *б, г*) и несамоустанавливающиеся (см. рис. 1, *а, в, д—к*).

Существует более 15 тыс. типоразмеров подшипников размером от 0,5мм до 2м и более, массой от 0,001 кг до 7 т.

Подшипники в диапазоне внутренних диаметров 3...10мм стандартизированы через 1мм, от 10 до 20мм — через 2...3мм, до 110мм — через 5мм, до 200мм — через 10мм, до 500мм — через 20мм.

Подшипники качения по направлению воспринимаемой нагрузки разделяют на:

- радиальные, предназначенные восприятия радиальной нагрузки (поперек продольной оси вращения) и меньшие по величине осевые нагрузки, допускают небольшие перекосы (до $1/4^\circ$);
- упорные, воспринимающие только осевую нагрузку;
- радиально-упорные, воспринимающие комбинированную (осевую и радиальную) нагрузку.

*По форме тел качения подшипники делят на шариковые (см. рис. 16, *а, б, ж, и*), с цилиндрическими роликами (см. рис. 16, *в*), с коническими роликами (см. рис. 16, *з, к*), игольчатые (см. рис. 1, *д*), с витыми роликами (см. рис. 1, *е*), с бочкообразными роликами (сферическими) (см. рис. 16, *г*). Тела качения игольчатых подшипников тонкие ролики — иглы диаметром 1,6—5 мм. Длина игл в 5—10 раз больше их диаметра. Сепараторы в игольчатых подшипниках отсутствуют.*

*По числу рядов тел качения различают однорядные (см. рис. 16, *а, в, д—к*) и двухрядные (см. рис. 16, *б, г*) подшипники качения.*

По конструктивным и эксплуатационным признакам подшипники делят на самоустанавливающиеся (см. рис. 16, *б, г*) и несамоустанавливающиеся (см. рис. 16, *а, в, д—к*).

Маркировка подшипников качения.

Каждый подшипник качения имеет условное клеймо, обозначающее тип, размер, класс точности, завод-изготовитель.

На неразъемные подшипники клеймо наносят на одно из колец, на разборные — на оба кольца, например, на радиальный подшипник с короткими цилиндрическими роликами (см. рис. 1, в), где наружное кольцо без бортов и свободно снимается, а внутреннее кольцо с бортами составляет комплект с сепаратором и роликами.

Под типом подшипника понимают его конструктивную разновидность, определяемую по признакам классификации.

Условное обозначение подшипника составляется из цифр (максимальное количество цифр 7) и характеризует внутренний диаметр ПК, его серию, тип, конструктивную разновидность. Порядок отсчёта цифр справа налево (рис. 2).

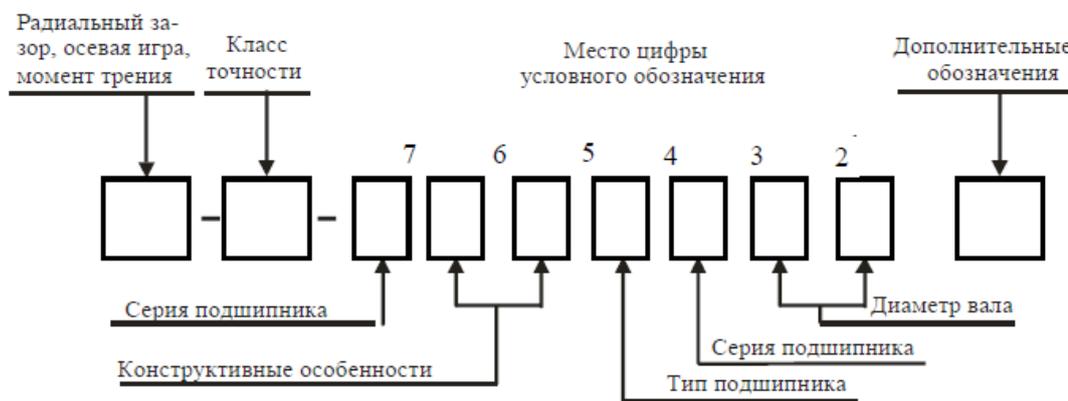


Рисунок 2 - Пример маркировки подшипника.

Первая и вторая цифры справа условно обозначают его номинальный внутренний диаметр d (диаметр вала). Для определения истинного размера d (в миллиметрах) необходимо указанные две цифры умножить на пять. Например, подшипник ...04 имеет внутренний диаметр $(04 \times 5) = 20$ мм. Это правило распространяется на подшипники с цифрами ...04 и выше, до ...99, т. е. для $J=20H-495$ мм. Подшипники с цифрами... 00 имеют $d=10$ мм; ...01 $d=12$ мм; ...02 $d=15$ мм; ...03 $d=17$ мм.

Третья цифра справа обозначает серию подшипника, определяя его наружный диаметр: 1 — особо легкая, 2 — легкая; 3 — средняя, 4 — тяжелая; 5 — легкая широкая, 6 — средняя широкая.

Четвертая цифра справа обозначает тип подшипника. Если эта цифра 0, то это означает, что подшипник радиальный шариковый однорядный; шариковый однорядный (если левее 0 нет цифр, то 0 не указывают); 1 — радиальный шариковый двухрядный сферический; 2 — радиальный с короткими цилиндрическими роликами; 3 — радиальный роликовый двухрядный сферический; 4 — игольчатый или роликовый с длинными цилиндрическими роликами; 5 — роликовый с витыми роликами; 6 — радиально-упорный шариковый; 7 — роликовый конический (радиально-упорный); 8 — упорный шариковый; 9 — упорный роликовый.

шариковый радиальный однорядный	0
шариковый радиальный сферический	1
роликовый радиальный с короткими цилиндрическими роликами	2
роликовый радиальный сферический	3
роликовый радиальный с длинными цилиндрическими или игольчаты-	

ми роликами	4
роликовый радиальный с витыми роликами	5
шариковый радиально-упорный	6
роликовый конический	7
шариковый упорный и шариковый упорно-радиальный	8
роликовый упорный и роликовый упорно-радиальный	9

Так, например, подшипник 7208 является роликовым коническим.

Пятая и шестая цифры справа характеризуют конструктивные особенности подшипника (неразборный, с защитной шайбой, с закрепительной втулкой и т. п.).

Например:

50312 — радиальный однорядный шарикоподшипник средней серии со стопорной канавкой на наружном кольце;

150312 — тот же подшипник с защитной шайбой;

36312 — радиально-упорный шариковый однорядный подшипник средней серии, неразборный. <http://discover-thailand.ru/frukti-thailanda.html>

Седьмая цифра справа характеризует серию подшипника по ширине.

ГОСТом установлены следующие классы точности подшипников качения: 0 — нормальный класс (как правило, 0 в обозначении не указывают); 6 — повышенный; 5 — высокий, 4 — особо высокий, 2 — сверхвысокий. Цифру, обозначающую класс точности, ставят слева от условного обозначения подшипника и отделяют от него знаком тире; например, 206 означает шариковый радиальный подшипник легкой серии с номинальным диаметром 30 мм, класса точности 0.

Кроме цифр основного обозначения слева и справа от него могут дополнительные буквенные или цифровые знаки, характеризующие специальные условия изготовления данного подшипника.

Так, класс точности маркируют цифрой слева через тире от основного обозначения. В порядке повышения точности классы точности обозначают: 0, 6, 5, 4, 2. Класс точности, обозначаемой цифрой 0 и соответствующей нормальной точности, не проставляют. В общем машиностроении применяют подшипники классов 0 и 6. в изделиях высокой точности или работающей высокой частотой вращения (шпиндельные узлы скоростных станков, высокооборотный электродвигатели и др.) применяют подшипники класса 5 и 4. подшипники класса точности 2 используют в гироскопических приборах.

Так, например, подшипник 7208 — класса точности 0.

Помимо приведенных выше, имеются и дополнительные (более высокие и более низкие) классы точности.

В зависимости от наличия дополнительных требований к уровню вибраций, отклонениям формы и расположения поверхностей качения, моменту трения и др. установлены три категории подшипников: А — повышенные регламентированные нормы; В — регламентированные нормы; С — без дополнительных требований.

Возможные знаки справа от основного обозначения: Е — сепаратор выполнен из пластических материалов; Р — детали подшипника из теплостойких сталей; С — подшипник закрытого типа при заполнении смазочным материалом и др.

Примеры обозначений подшипников:

311 — подшипник шариковый радиальный однорядный, средней серии диаметров 3, серии ширины 0, с внутренним диаметром $d=55$ мм, основной конструкции, класса точности 0;

6-36209 — подшипник шариковый радиально-упорный однорядный, легкой серии

диаметров 2, серии ширин 0, с внутренним диаметром $d = 45$ мм, с углом контакта $\alpha = 12^\circ$, класса точности 6;

4-12210 — подшипник роликовый радиальный с короткими цилиндрическими роликами, легкой серии диаметров 2, серии ширин 0, с внутренним диаметром $d = 50$ мм, с одним бортом на наружном кольце (см. рис. 14.9, б), класса точности 4;

4-3003124P — подшипник роликовый радиальный сферический двухрядный особо легкой серии диаметров 1, серии ширин 3, с внутренним диаметром $d=120$ мм, основной конструкции (см. рис. 14.8), класса точности 4, детали подшипника изготовлены из теплостойких сталей.

Порядок выполнения работы:

1. Получить у преподавателя задание на два подшипника качения определенного типа и размера.

2. Получить у преподавателя мерительный инструмент для нахождения заданных подшипников и определения наиболее характерных размеров подшипников соответствующего типа в ходе проведения лабораторной работы.

3. Ознакомиться по таблицам ГОСТ с существующими типами подшипников их конструктивными, нагрузочными и геометрическими характеристиками в соответствии с проставляемыми на них номерами.

4. Произвести отбор двух заданных преподавателем подшипников качения, проверить соответствие их геометрических размеров проставленному номеру, расшифровать значение всех цифр проставленного номера подшипника.

Форма представления результата: защита практической работы

Критерии оценки:

Оценка 3 – верно отобран один подшипник;

Оценка 4 – верно отобраны два подшипника;

Оценка 5 – работа устно защищена по конспекту.

Тема 5.3 Валы и оси. Опоры валов и осей

Практическое занятие № 13.

Расчет подшипников качения

Цель: иметь представление об опорах валов. Знать методы расчета подшипников качения на долговечность. Уметь выбирать подшипники качения.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

У 2.2.04 производить расчеты механических передач и простейших сборочных единиц.

Материальное обеспечение:

Конспект лекций, инструкция по выполнению работы, интернет-ресурсы, линейка, карандаш, ластик

Задание:

Подобрать и рассчитать подшипники качения:

4. для быстроходного вала редуктора;
5. для тихоходного вала редуктора.

Краткие теоретические сведения:

Ведущий вал.

диаметр входного участка вала:

$$d_{e1} = \sqrt[3]{\frac{16T_1}{\pi[\tau]_k}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 147,7 \cdot 1000}{\pi 25}} = 31,1 \text{ мм.}$$

Принимаем:

$$d_{e1} = 35 \text{ мм.}$$

диаметр вала под подшипники:

$$d_{n1} = 40 \text{ мм.}$$

Ведомый вал.

диаметр выходного участка вала:

$$d_{e2} = \sqrt[3]{\frac{16T_2}{\pi[\tau]_k}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 516,7 \cdot 1000}{\pi 25}} = 47,2 \text{ мм.}$$

Принимаем:

$$d_{e2} = 50 \text{ мм.}$$

диаметр вала под подшипники:

$$d_{n2} = 55 \text{ мм.}$$

По диаметру вала под подшипники принимаем (табл.1, рис. 1).

Таблица 1. Размеры подшипников

	№	d, мм	D, мм	b, мм	C, кН	Co, кН
Шестерня	308	40	90	23	31,3	22,3
Колесо	311	55	120	29	54,9	41,8

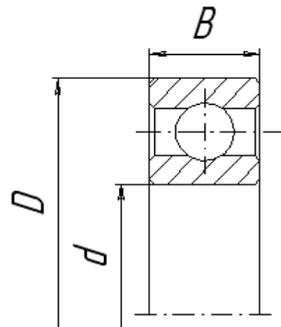


Рисунок 1 - Подшипник радиальный однорядный

Конструктивно определяем размер от оси колес до оси подшипников $l_1=l_2=60$ мм. Схема нагружения валов показана на рис.2.

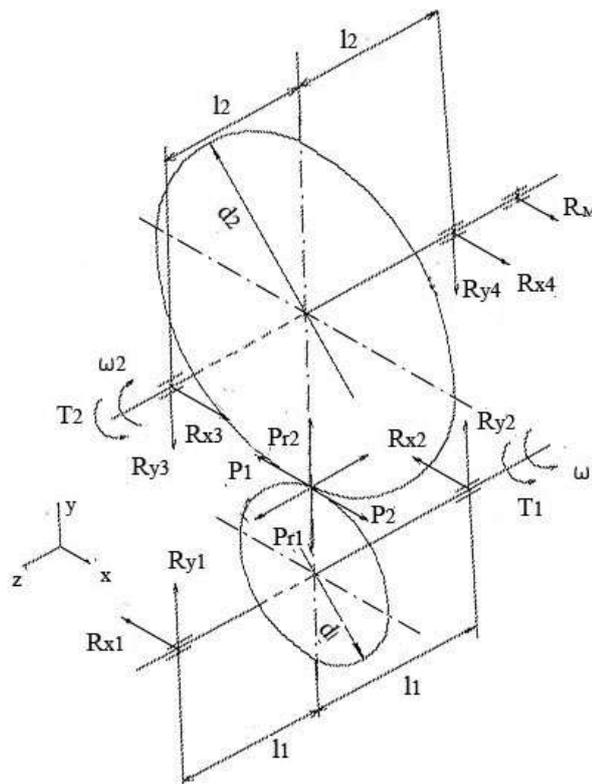


Рисунок 2 - Схема нагружения валов

Ведущий вал.
Реакции опор:
в плоскости XZ

$$R_{x1} = R_{x2} = \frac{P}{2} = \frac{3692}{2} = 1846 \text{ Н.}$$

в плоскости YZ

$$R_{y1} = \frac{1}{2l_1} \left(P_r l_1 + P_a \frac{d_1}{2} \right) = \frac{1}{2 \cdot 60} \left(1378 \cdot 60 + 841 \frac{80}{2} \right) = 970 \text{ Н.}$$

$$R_{y2} = \frac{1}{2l_1} \left(P_r l_1 - P_a \frac{d_2}{2} \right) = \frac{1}{2 \cdot 60} \left(1378 \cdot 60 - 841 \frac{320}{2} \right) = 409 \text{ Н.}$$

Проверка: $R_{y1} + R_{y2} - P_r = 0$.

Суммарные реакции:

$$F_{r1} = R_1 = \sqrt{R_{x1}^2 + R_{y1}^2} = \sqrt{1846^2 + 970^2} = 2085 \text{ Н.}$$

$$F_{r2} = R_2 = \sqrt{R_{x2}^2 + R_{y2}^2} = \sqrt{1846^2 + 409^2} = 1891 \text{ Н.}$$

Подбираем подшипники по более нагруженной опоре 1. Намечаем радиальные шариковые подшипники 308:

$$d=30 \text{ мм}; \quad D=90 \text{ мм}; \quad B=23 \text{ мм}; \quad C=31,3 \text{ кВт}; \quad C_o=22,3 \text{ кВт.}$$

Коэффициенты:

$$k_\sigma = 1;$$

$$k_\tau = 1;$$

$$V=1;$$

$$\frac{P_a}{C_o} = 0,038; \quad \frac{P_a}{F_{r1}} = 0,404 > e;$$

$$X=0,56; \quad Y=1,75.$$

Эквивалентная нагрузка:

$$P_\sigma = (XV F_{r1} + Y F_a) k_\sigma K_\tau = (0,56 \cdot 1 \cdot 2085 + 1,75 \cdot 841) 1 \cdot 1 = 2640 \text{ Н.}$$

Расчетная долговечность:

$$L_h = 16667 \frac{(C/P_\sigma)^3}{n_1} = 16667 \frac{(31300/2640)^3}{970} = 28637 \text{ ч. } \rightarrow L_{\text{зад}}=8760 \text{ ч.}$$

Ведомый вал.

Реакция опор:

в плоскости XOZ

$$R_{cx} = \frac{-F_t \cdot l_2 + P_H \cdot (l_1 + 2 \cdot l_2)}{2 \cdot l_2} = 3003,8 \text{ Н;}$$

$$R_{Dx} = \frac{F_t \cdot l_2 + P_H \cdot l_1}{2 \cdot l_2} = 3317,7 \text{ Н.}$$

в плоскости YOZ

$$R_{CY} = \frac{F_{ц} \cdot (l_1 + 2 \cdot l_2) + F_{a2} \cdot \frac{d_2}{2} - F_{r2} \cdot l_2}{2 \cdot l_2} = 5122,2 \text{ Н.}$$

$$R_{DY} = \frac{F_{ц} \cdot l_1 + F_{a2} \cdot \frac{d_2}{2} + F_{r2} \cdot l_2}{2 \cdot l_2} = 3122,4 \text{ Н.}$$

$$\sum Y_i = F_{ц} - F_{r2} - R_{CY} + R_{DY} = 0.$$

Суммарные реакции:

$$F_{r3} = R_3 = \sqrt{R_{Cx}^2 + R_{Dy}^2} = \sqrt{3003,8^2 + 5122,2^2} = 3035 \text{ Н.}$$

$$F_{r4} = R_4 = \sqrt{R_{Cx}^2 + R_{Dy}^2} = \sqrt{3317,7^2 + 3122,4^2} = 3780 \text{ Н.}$$

Подбираем подшипники по более нагруженной опоре 4. Намечаем радиальные шариковые подшипники 311:

$$d=55 \text{ мм; } D=120 \text{ мм; } B=29 \text{ мм; } C= 54,9 \text{ кВт; } C_o=41,8 \text{ кВт}$$

$$k_{\sigma} = 1;$$

$$k_{\tau} = 1;$$

$$V= 1.$$

$$\frac{F_a}{C_o} = 0,02; \quad \frac{F_a}{F_{r4}} = 0,223 > e; \quad X=0,56; \quad Y=2,2.$$

Эквивалентная нагрузка:

$$P_3 = (XVF_{r4} + YF_a)k_{\sigma}k_{\tau} = (0,56 \cdot 1 \cdot 3780 + 2,2 \cdot 841) \cdot 1 \cdot 1 = 3968 \text{ Н.}$$

Расчетная долговечность:

$$L_h = 16667 \frac{\left(\frac{C}{P_3}\right)^3}{n_2} = 16667 \frac{\left(\frac{54900}{3968}\right)^3}{242,5} = 182084 \text{ ч.}$$

$L_h > L_{зад}$. Подшипник пригоден.

Порядок выполнения работы:

- 1 Рассмотреть теоретические положения.
- 2 Изучить методику выбора и расчета подшипников качения.
- 3 Выполнить задание.
- 4 Сделать вывод.

Форма представления результата: защита практической работы

Критерии оценки:

Оценка 3 – верно выбраны подшипники качения (ПК) для двух валов;

Оценка 4 – верно рассчитаны подшипники качения (ПК) для двух валов;

Оценка 5 – верно выбраны, рассчитаны ПК и устно защищена работа по конспекту.