

*Приложение 2.24.1 к ОПОП-П по специальности
15.02.14 Оснащение средствами автоматизации
технологических процессов и производств (по
отраслям)*

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
15.02.14 Оснащение средствами автоматизации технологических
процессов и производств (по отраслям)**

ОДОБРЕНО

Предметно-цикловой комиссией
«Механического, гидравлического
оборудования и автоматизации »
Председатель О.В. Коровченко
Протокол № 5 от 31.01.2024 г

Методической комиссией МпК

Протокол № 3 от 21.02.2024 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 ОПЦ.02 «Техническая механика».

Содержание практических и лабораторных работ ориентировано на подготовку обучающихся к освоению профессионального(ых) модуля(ей) программы подготовки специалистов среднего звена по специальности 15.02.14 Оснащение средствами автоматизации технологических процессов и производств (по отраслям) и овладению профессиональными компетенциями.

СОДЕРЖАНИЕ

1 Введение.....	4
2 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ.....	6
Практическое занятие № 1.....	6
Практическое занятие № 2.....	8
Практическое занятие № 3.....	12
Практическое занятие № 4.....	15
Практическое занятие № 5.....	17
Практическое занятие № 6.....	20
Практическое занятие № 7.....	22
Практическое занятие № 8.....	25
Практическое занятие №9.....	28
Практическое занятие №10.....	30
Практическое занятие № 11.....	32
Лабораторное занятие №1.....	35
Практическое занятие №12.....	41
Практическое занятие № 13.....	44
Практическое занятие № 14.....	47
Практическое занятие № 15.....	50
Лабораторное занятие № 2.....	52
Практическое занятие №16.....	56
Практическое занятие №17.....	59

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:

У1.1.02. производить расчеты механических передач и простейших сборочных единиц;

У 2.1.07. определять напряжения в конструкционных элементах;

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

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

ПК 1.2. Разрабатывать виртуальную модель элементов систем автоматизации на основе выбранного программного обеспечения и технического задания

ПК 1.3. Проводить виртуальное тестирование разработанной модели элементов систем автоматизации для оценки функциональности компонентов

ПК 1.4. Формировать пакет технической документации на разработанную модель элементов систем автоматизации

ПК 2.1. Осуществлять выбор оборудования и элементной базы систем автоматизации в соответствии с заданием и требованием разработанной технической документации на модель элементов систем автоматизации

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

ПК 2.3. Проводить испытания модели элементов систем автоматизации в реальных условиях с целью подтверждения работоспособности и возможной оптимизации

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

ПК 3.5. Контролировать качество работ по монтажу, наладке и техническому обслуживанию систем и средств автоматизации, выполняемых подчиненным персоналом и

соблюдение норм охраны труда и бережливого производств

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

ПК 4.2. Осуществлять диагностику причин возможных неисправностей и отказов систем для выбора методов и способов их устранения

А также формированию **общих компетенций**:

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

ОК 02. Использовать современные средства поиска, анализа и интерпретации информации, и информационные технологии для выполнения задач профессиональной деятельности.

ОК 03. 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:

У1.1.02. 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).



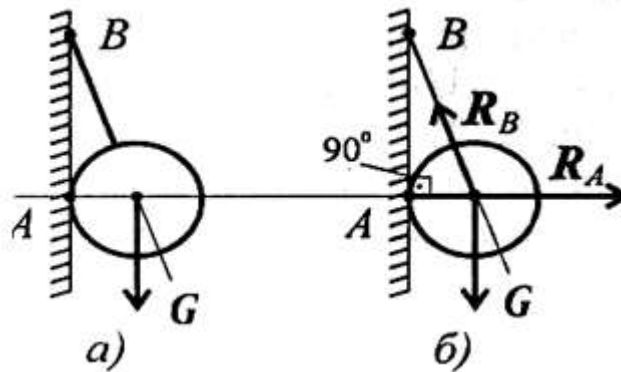
- а) Силы, действующие на шарнир А.
 б) Система сходящихся сил.

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 1.2 Пара сил и момент силы относительно точки

Практическое занятие № 2 Момент силы относительно точки

Цель: в результате выполнения работы студент должен иметь представление о видах опор балочных систем и возникающих в них реакциях. Знать формы уравнений равновесия плоской системы произвольно расположенных сил уметь их использовать для определения неизвестных реакций в опорах. Уметь выполнять проверку правильности решения.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

У1.1.02. производить расчеты механических передач и простейших сборочных единиц;

Материальное обеспечение:

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

Задание:

1. Какие силы из системы сил (рисунок 1) образуют пары?

$$F_1 = F_2 = F_4; F_3 = F_6; F_5 = 0,9F_6.$$

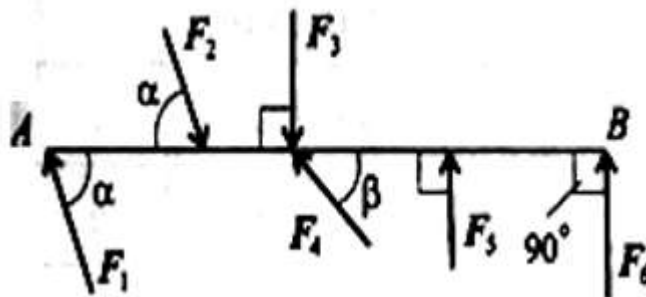


Рисунок 1 – К вопросу 1

2. Определите момент изображенной на рисунке 2 пары сил. $|F| = |F'| = 5 \text{ кН}$.

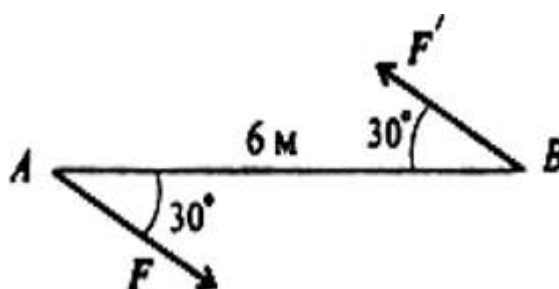


Рисунок 2 – К вопросу 2

3. Какие из изображенных пар (рисунок 3) эквивалентны, если $F_1 = F_2 = 8 \text{ кН}$; $F_3 = 6,4 \text{ кН}$; $a_1 = 2 \text{ м}$; $a_2 = 2,5 \text{ м}$?

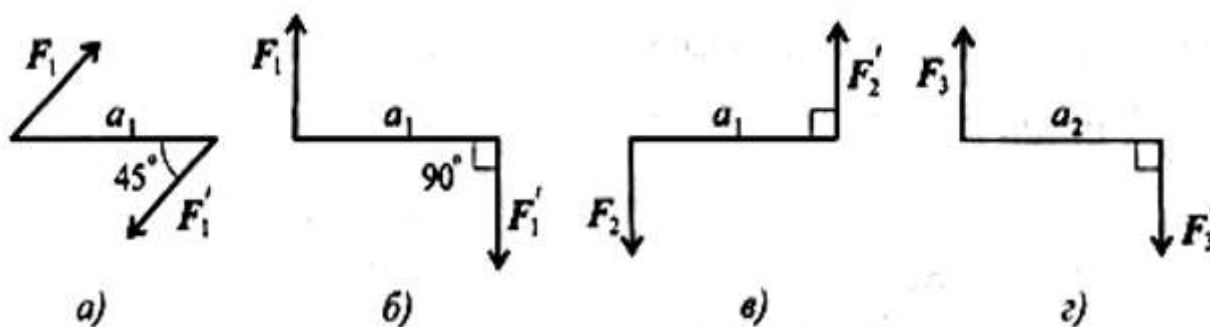


Рисунок 3 – К вопросу 3

Краткие теоретические сведения

Сила, не проходящая через точку крепления тела, вызывает вращение тела относительно точки, поэтому действие такой силы на тело оценивается моментом.

Момент силы относительно точки численно равен произведению модуля силы на расстояние от точки до линий действия силы.

Перпендикуляр, опущенный из точки на линию действия силы (рисунок 4), называется плечом силы.

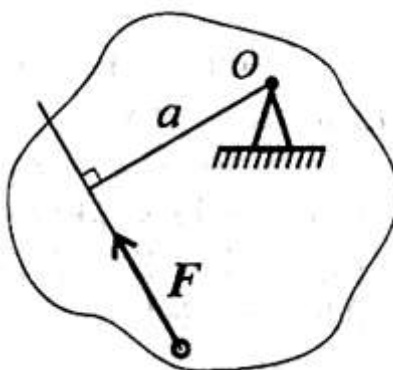


Рисунок 4 – Момент силы относительно точки

Обозначение момента $M_O(F)$ или $m_O(F)$;

$$M_O(F) = Fa.$$

Единица измерения $[m_O(F)] = \text{Н} \times \text{м}$.

Момент считается положительным, если сила разворачивает тело по часовой стрелке.

Примечание. В разных учебных пособиях знак момента назначается по-разному.

Момент силы относительно точки равен нулю, если линия действия силы проходит через точку, т. к. в этом случае расстояние от точки до силы равно нулю.

Пример 1. Дана пара сил $|F_1| = |F'_1| = 42$ кН; плечо 2 м. Заменить заданную пару сил эквивалентной парой с плечом 0,7 м (рисунок 5).

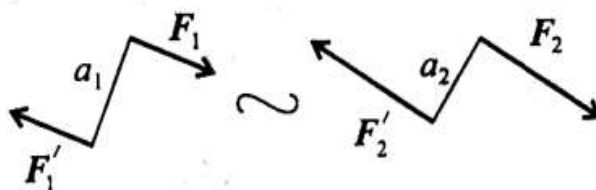


Рисунок 5 – Эквивалентные пары сил

Решение

Пары сил эквивалентны, если моменты этих пар численно равны:

$$m_1 = F_1 a_1; m_1 = 42 \cdot 2 = 84 \text{ кН}\cdot\text{м}; \quad m_2 = F_2 a_2; m_1 = m_2.$$

$$\text{Откуда } F_2 = \frac{84}{0,7} = 120 \text{ кН}.$$

Пример 2. Дана система пар сил (рисунок 2). Определить момент результирующей пары.

Пары сил эквивалентны, если моменты этих пар численно равны:

Пример 2. Дана система пар сил (рисунок 6). Определить момент результирующей пары.

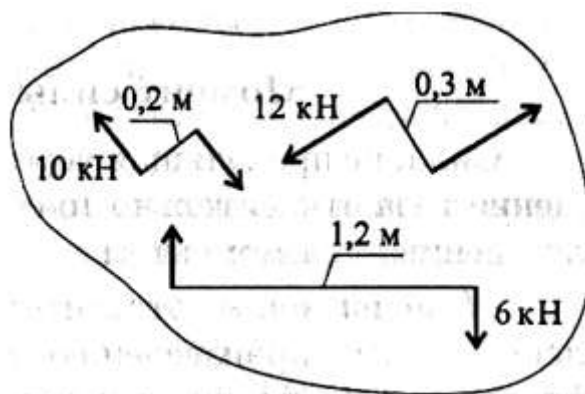


Рисунок 6 – К примеру 2

Решение

Момент результирующей пары равен алгебраической сумме моментов пар системы:

$$M_{\Sigma} = \sum_0^n m_k.$$

Подставив численные значения, получим:

$$m_1 = 10 \cdot 0,2 = 2 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$m_2 = - 12 \cdot 0,3 = - 3,6 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$m_3 = 6 \cdot 1,2 = 7,2 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$M_{\Sigma} = 2 + (- 3,6) + 7,2 = 5,6 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Знак свидетельствует о том, что момент вызывает вращение по часовой стрелке. Величину силы и плеча определить не удается.

Примечание. Чтобы уравновесить данную систему пар, необходимо приложить пару сил, равную по модулю и в обратную сторону. Такую пару сил называют

уравновешивающей.

Порядок выполнения работы:

- 1 Законспектировать теоретические положения
- 2 Выполнить письменно задания.
- 3 Сделать вывод

Форма представления результата:

Защита практической работы

Критерии оценки:

Оценка 3 – выполнены два задания.

Оценка 4 – выполнены все задания.

Оценка 5 – защита работы (составить уравнение моментов относительно центра вращения кривошипа).

Тема 1.3. Плоская система произвольно расположенных сил

Практическое занятие № 3

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:

У1.1.02. производить расчеты механических передач и простейших сборочных единиц;

Материальное обеспечение:

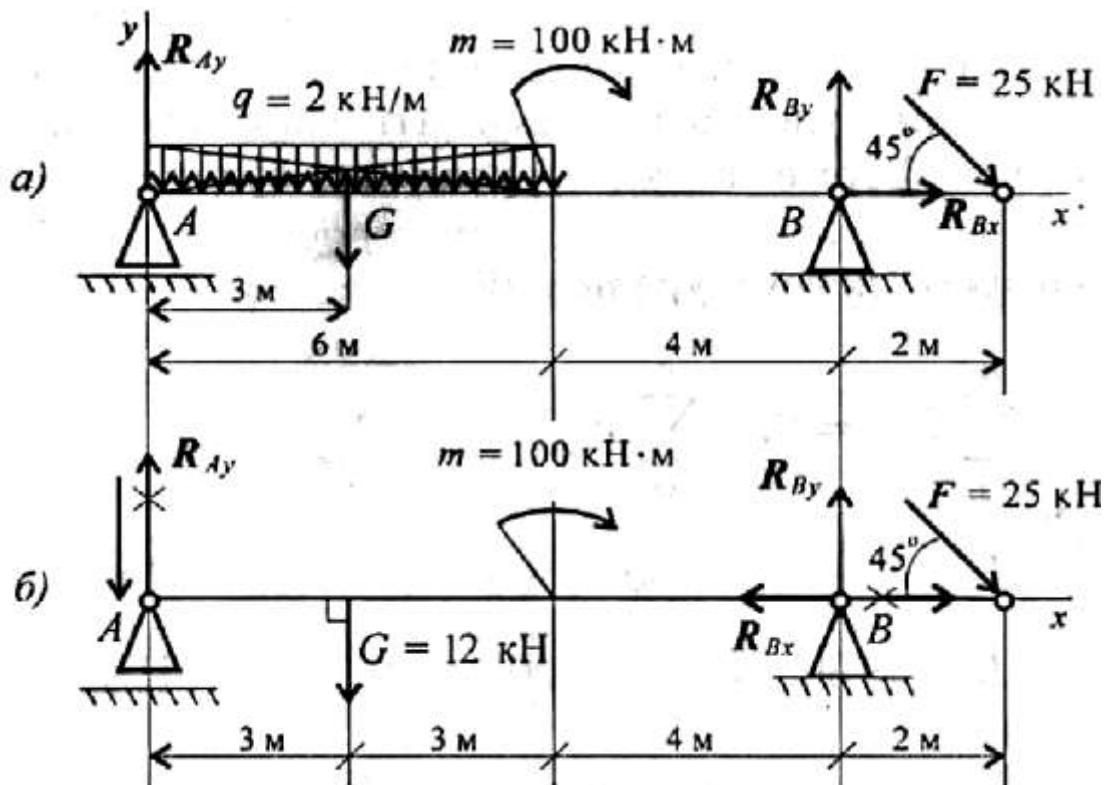
Конспект лекций, инструкция по выполнению работы, интернет-ресурсы, линейка, карандаш, ластик

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 № 4

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:

У1.1.02. 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.

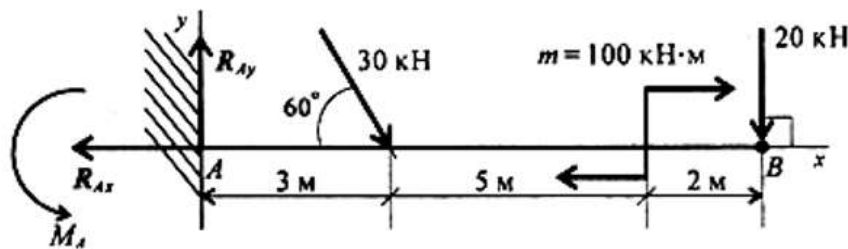


Рисунок 1 – Балка с зашечленным концом

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 № 5 Определение центра тяжести фигуры

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 простых и составных фигур и фигур.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

У 2.1.07. определять напряжения в конструкционных элементах;

Материальное обеспечение:

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

Задание:

- 1 Повторить теоретический материал
- 2 Изучить методику определения центра тяжести простых и составных фигур и фигур
- 3 Выполнить расчет

Краткие теоретические сведения

Положения центров тяжести простых геометрических фигур могут быть рассчитаны по известным формулам (рис. 1: *а*) — круг; *б*) — квадрат, прямоугольник; *в*) — треугольник; *г*) — полукруг).

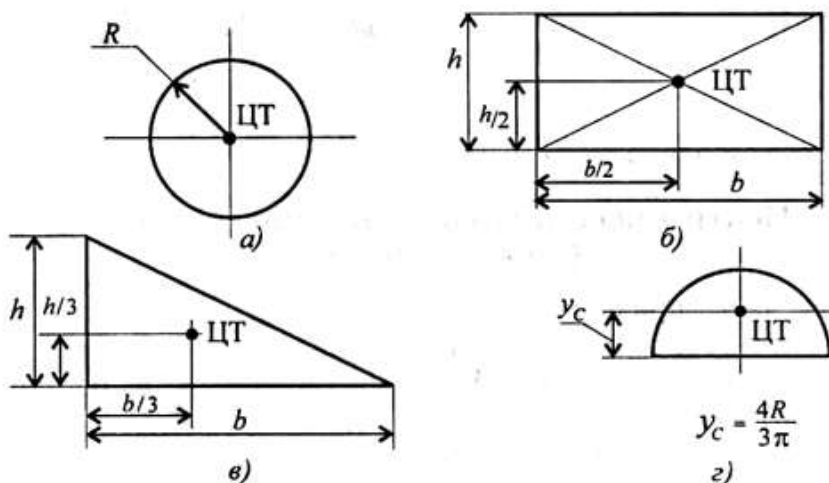


Рисунок 1 – Положения центра тяжести простых фигур:

а – круг; б –прямоугольник; в – треугольник; г- полукруг

Примечание. Центр тяжести симметричной фигуры находится на оси симметрии.

Центр тяжести стержня находится на середине высоты. При решении задач используются следующие методы:

1. метод симметрии: центр тяжести симметричных фигур находится на оси симметрии;

2. метод разделения: сложные сечения разделяем на несколько простых частей, положение центров тяжести которых легко определить;

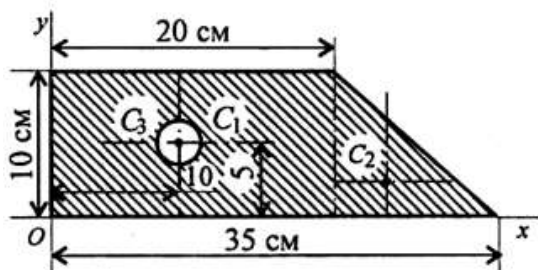
3. метод отрицательных площадей: полости (отверстия) рассматриваются как часть сечения с отрицательной площадью.

Примеры решения задач

Пример 1. Определить положение центра тяжести фигуры, представленной на рис. 2.

Решение

Разбиваем фигуру на три части:



- 1 — прямоугольник,
 $A_1 = 10 \cdot 20 = 200 \text{ см}^2$;
- 2 — треугольник,
 $A_2 = 1/2 \cdot 10 \cdot 15 = 75 \text{ см}^2$;
- 3 — круг, $A_3 = \pi R^2$;
 $A_3 = 3,14 \cdot 3^2 = 28,3 \text{ см}^2$.

Рисунок 2 – Составное сечение

ЦТ фигуры 1: $x_1 = 10 \text{ см}$; $y_1 = 5 \text{ см}$.

ЦТ фигуры 2: $x_2 = 20 + 1/3 \cdot 15 = 25 \text{ см}$; $y_2 = 1/3 \cdot 10 = 3,3 \text{ см}$.

ЦТ фигуры 3: $x_3 = 10 \text{ см}$; $y_3 = 5 \text{ см}$;

$$x_C = \frac{200 \cdot 10 + 75 \cdot 25 - 28,3 \cdot 10}{200 + 75 - 28,3} = 14,5 \text{ см}.$$

Аналогично определяется $y_C = 4,5 \text{ см}$.

Пример 2. Найти положение центра тяжести симметричной стержневой фермы $ADBE$ (рис. 3), размеры которой таковы: $AB = 6 \text{ м}$, $DE = 3 \text{ м}$ и $EF = 1 \text{ м}$.

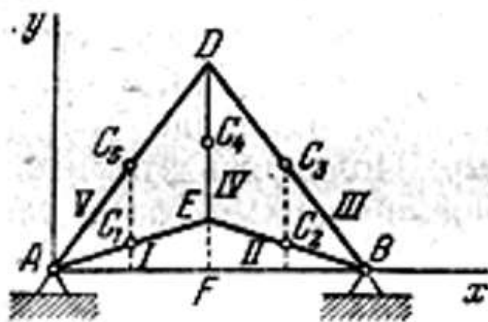


Рисунок 3 – Стержневая ферма

Решение

Так как ферма симметричная, то ее центр тяжести лежит на оси симметрии DF . При выбранной (рис. 116) системе координатных осей абсцисса центра тяжести фермы

$$x_C = AF = \frac{AB}{2} = 3 \text{ м}.$$

Неизвестной, следовательно, является лишь ордината y_C центра тяжести фермы. Для ее определения разбиваем ферму на отдельные части (стержни). Длины их определяются из

соответствующих треугольников.

Из $\triangle AEF$ имеем

$$AE = BE = \sqrt{AF^2 + FE^2} = \sqrt{3^2 + 1^2} = 3,16 \text{ м.}$$

Из $\triangle ADF$ имеем

$$AD = \sqrt{AF^2 + (DE + EF)^2} = \sqrt{3^2 + 4^2} = 5 \text{ м.}$$

Части фермы	Длина l_k части, м	Ордината y_k центра тяжести каждой части, м
I	3,16	0,5
II	3,16	0,5
III	5	2
VI	3	2,5
V	5	2

Центр тяжести каждого стержня лежит в его середине, координаты этих центров легко определяются из чертежа (рис. 116).

Найденные длины и ординаты центров тяжести отдельных частей фермы заносим в таблицу и по формуле

$$x_c = \frac{\sum l_k x_k}{\sum l_k}, \quad y_c = \frac{\sum l_k y_k}{\sum l_k}, \quad z_c = \frac{\sum l_k z_k}{\sum l_k},$$

определяем ординату y_c центра тяжести данной плоской фермы.

$$y_c = \frac{\sum l_k y_k}{l} = \frac{3,16 \cdot 0,5 + 3,16 \cdot 0,5 + 5 \cdot 2 + 3 \cdot 2,5 + 5 \cdot 2}{3,16 + 3,16 + 5 + 3 + 5} \approx 1,59 \text{ м.}$$

Следовательно, центр тяжести C всей фермы лежит на оси DF симметрии фермы на расстоянии 1,59 м от точки F .

Порядок выполнения работы:

- 1 Рассмотреть теоретические положения
- 2 Изучить методику определения центра тяжести составного сечения
- 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 фигур.
- Оценка 4 – верно рассчитаны координаты общего центра тяжести.
- Оценка 5 – защита работы (определить координаты указанной преподавателем на схеметочки).

Практическое занятие № 6

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:

У 2.1.07. определять напряжения в конструктивных элементах;

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.

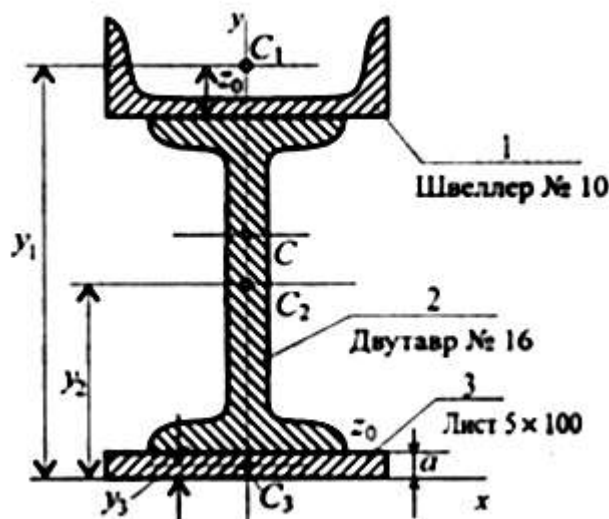


Рисунок 1 – Составное сечение из листа и прокатных профилей

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 схеметочки).

Тема 2.2 Простейшие движения твердого тела. Сложное движение твердого тела

Практическое занятие № 7 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:

У1.1.02. 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.

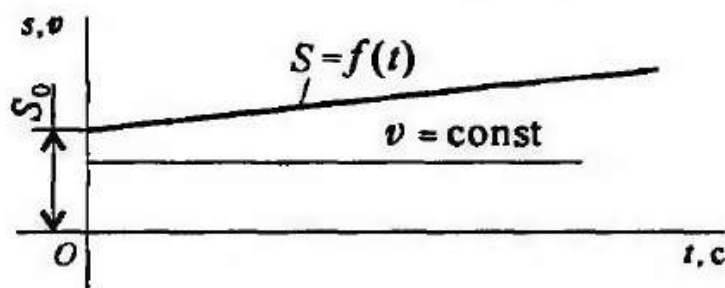


Рисунок 1 – Равномерное поступательное движение

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

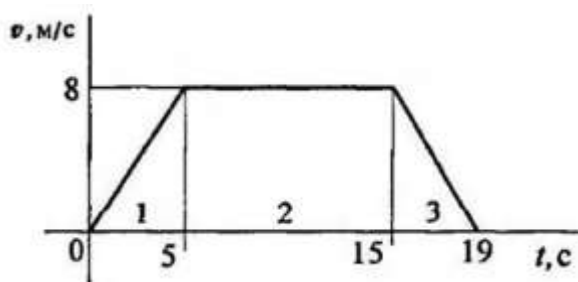


Рисунок 2 – График скорости

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

Второй участок — равномерное движение: $v = 8$ 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 $a_3 = \frac{v_{03}}{t_3}$; $a_3 = -\frac{8}{4} = -2$ м/с.

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

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

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

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

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

$v_{03} = 8$ м/с; $a_3 = -2$ м/с².

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: $v_0 = 36 \cdot 1000 / 3600 = 10$ 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):

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

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 схеме точки).

Тема 4.2 Растяжение и сжатие

Практическое занятие № 8 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:

У 2.1.07. определять напряжения в конструктивных 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

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

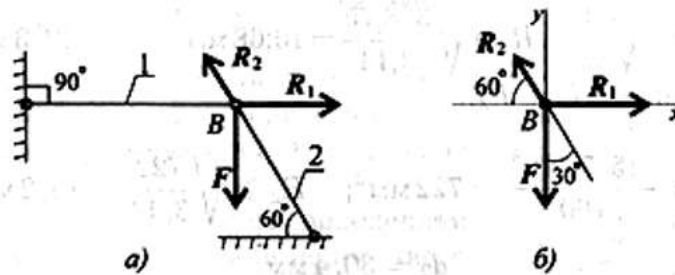
$[s]$ — допускаемый запас прочности.

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 потребную 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 №9. 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:

У 2.1.07. 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

$$N_1 = P_1 = 18 \text{ кН.}$$

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

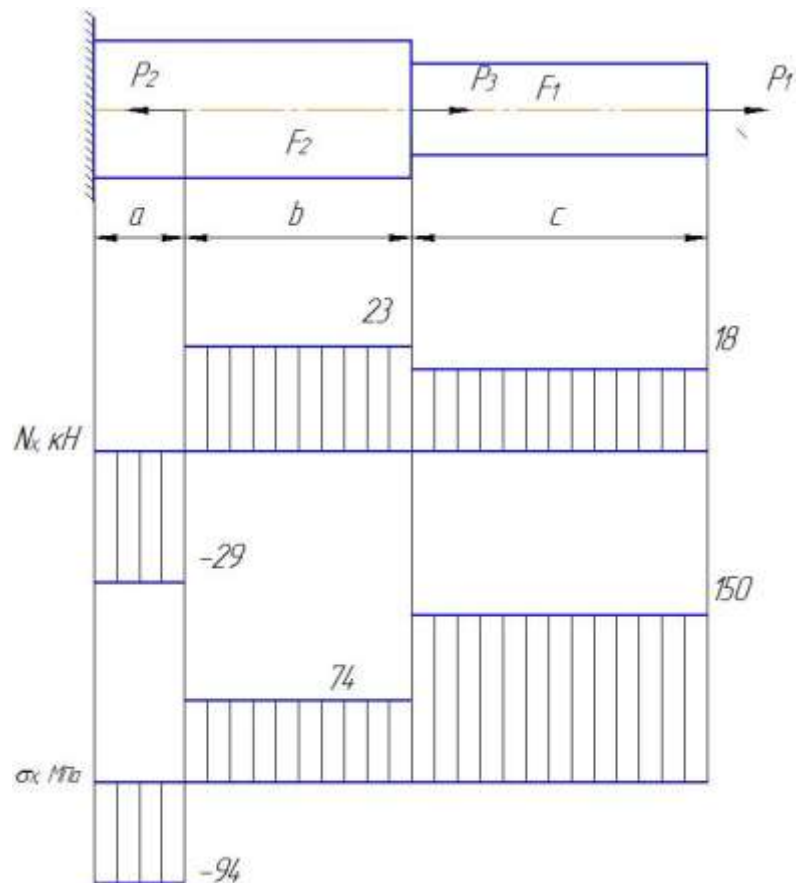
$$N_3 = P_1 + P_3 - P_2 = 18 + 5 - 52 = -29 \text{ кН.}$$

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

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

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

Эпюры продольных сил и нормальных напряжений показаны на рисунке 1.



Порядок выполнения работы:

- 1 Рассмотреть теоретические положения
- 2 Изучить методику построения пюр продольных сил и нормальных напряжений
- 3 Выполнить расчет и построить эпюры (по вариантам)
- 4 Сделать вывод

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

Практическое занятие №10.

Определение перемещения свободного края бруса

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

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

У 2.1.07. 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

$$N_1 = P_1 = 18 \text{ кН.}$$

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

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

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

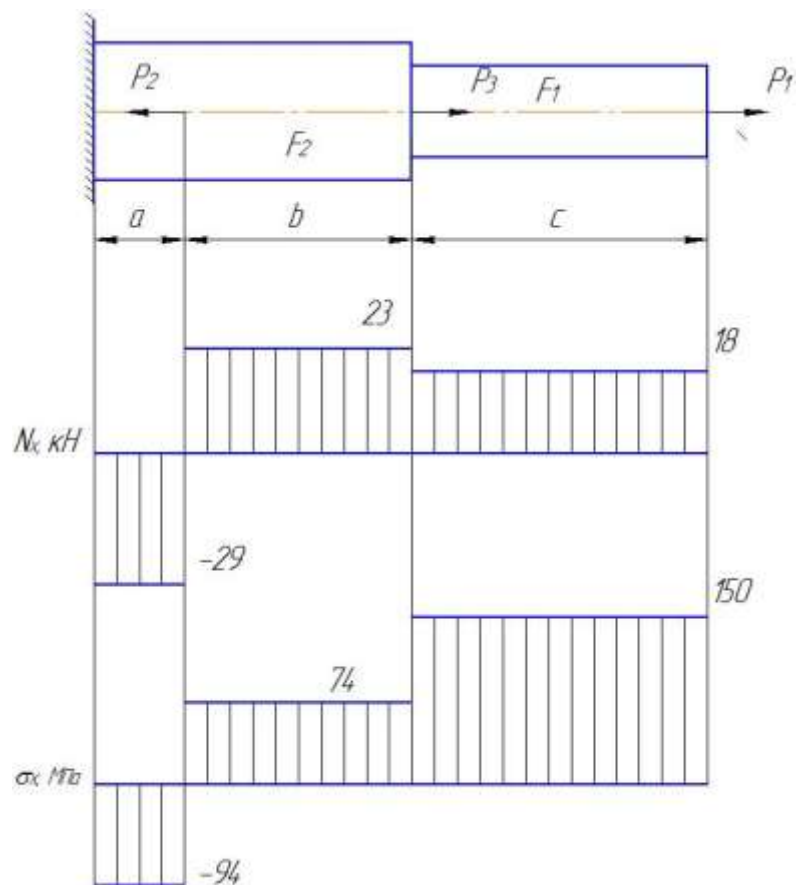
$$\sigma_2 = \frac{N_2}{F_2} = \frac{23000}{310 \cdot 10^{-6}} = 74 \text{ МПа.}$$

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

$$\Delta l = \frac{1}{E} \left(\frac{N_1 \cdot l_1}{F_1} + \frac{N_2 \cdot l_2}{F_2} + \frac{N_3 \cdot l_3}{F_2} \right) = \frac{1}{E} (\sigma_1 l_1 + \sigma_2 l_2 + \sigma_3 l_3) = \frac{1}{2 \cdot 10^{11}} (150 \cdot 10^6 \cdot 0,5 + 74 \cdot 10^6 \cdot 0,25 - 94 \cdot 10^6 \cdot 0,1) = 4,21 \cdot 10^{-4} \text{ м.}$$

Брус удлинился на 0,421 мм.

Эпюры продольных сил и нормальных напряжений показаны на рисунке 1.



Порядок выполнения работы:

- 1 Рассмотреть теоретические положения
- 2 Изучить методику определения перемещений свободного края бруса
- 3 Выполнить расчет (по вариантам)
- 4 Сделать вывод

Форма представления результата: защита практической работы

Критерии оценки:

- Оценка 3 – верно построены эпюры продольных сил и нормальных напряжений;
- Оценка 4 – верно определено перемещение свободного края бруса;
- Оценка 5 – устная защита работы по конспекту.

Тема 4.4 Кручение

Практическое занятие № 11 Расчёт на прочность и жёсткость при кручении

Цель: в результате выполнения работы студент должен знать правила построения эпюр крутящих моментов и касательных напряжений в поперечном сечении бруса, уметь с помощью метода сечений строить эпюры крутящих моментов и касательных напряжений, выполнять расчеты на прочность и жесткость.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

У 2.1.07. определять напряжения в конструктивных элементах.

Материальное обеспечение:

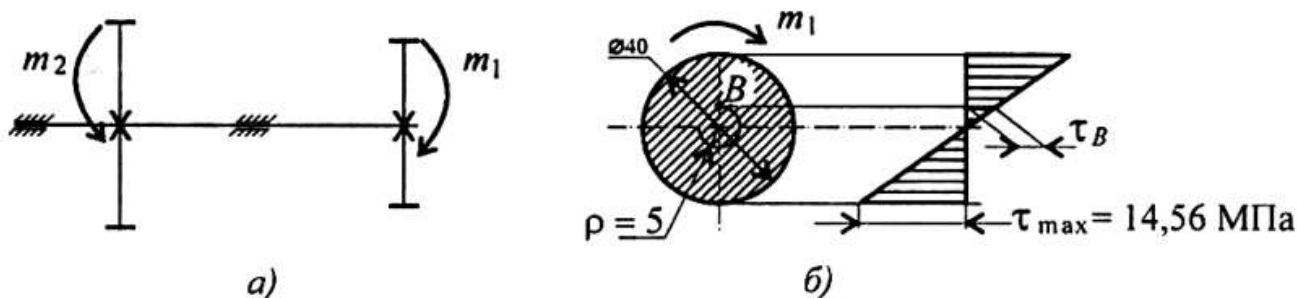
Конспект лекций, инструкция по выполнению работы, интернет-ресурсы, линейка, карандаш, ластик

Задание:

Рассчитать конструкцию на прочность и жесткость.

Краткие теоретические сведения:

Пример. Стальной вал диаметром 40 мм передает мощность 15кВт при угловой скорости 80 рад/с (рисунок 1); проверить прочность и жесткость вала, если допустимое напряжение кручения 20 МПа. Модуль упругости при сдвиге $0,8 \cdot 10^5$ МПа. Допускаемый угол закручивания $[\varphi_0] = 0,6$ град/м. Построить эпюру касательных напряжений и определить значение касательного напряжения в точке, удаленной на 5 мм от оси вала.



а) стальной вал; б) эпюра касательных напряжений

Рисунок 1 – Схема вала

Решение

Определяем вращающий момент на валу:

$$M_{вр} = \frac{P}{\omega}; \quad M_{вр} = \frac{15 \cdot 1000}{80} = 187,5 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Проверка прочности вала. Из условия равновесия

$$m_1 + m_2 = 0; \quad m_1 = m_2 = M_{кр}.$$

Условие прочности:

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

где τ_k — расчетное напряжение в сечении; M_k — крутящий момент в сечении; W_p — момент сопротивления; $[\tau_k]$ — допускаемое напряжение кручения.

$$3. \tau_k = \frac{187,5 \cdot 10^3}{12800} \approx 14,65 \text{ МПа.}$$

$$W_p = 0,2d^3 = 0,2 \cdot 40^3 = 12800 \text{ мм}^3.$$

Прочность обеспечена. Максимальное касательное напряжение в сечении $14,65 \text{ МПа} < 20 \text{ МПа}$.

Проверка жесткости. Условие жесткости:

$$\varphi_0 = \frac{M_k}{GJ_p} \leq [\varphi_0],$$

где φ_0 — относительный угол закручивания; J_v — полярный момент инерции при кручении; $[\varphi_0]$ — допускаемый угол закручивания.

$$J_p = \frac{\pi d^4}{32} \approx 0,1d^4.$$

$$J_p = 0,1 \cdot 40^4 = 256 \cdot 10^3 \text{ мм}^4.$$

$$\varphi_0 = \frac{187,5 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 10^5 \cdot 256 \cdot 10^3} = 9 \cdot 10^{-6} \text{ рад/мм.}$$

Угол закручивания участка

$$\varphi_0 = 9 \cdot 10^{-6} \text{ рад/мм} = 9 \cdot 10^{-3} \text{ рад/м.}$$

$$[\varphi_0] = 0,6 \text{ град/м} \approx 0,01 \text{ рад/м} > 0,009 \text{ рад/м.}$$

Жесткость обеспечена.

6. Построим эпюру касательных напряжений в поперечном сечении (рисунок 1, б). Определим напряжение в точке, удаленной на 5 мм от оси вала.

$$r/\rho = \tau_{\max}/\tau_B.$$

$$\tau_{\max} = 14,65 \text{ МПа.}$$

$$\frac{20}{5} = \frac{14,65}{\tau_B}; \quad \tau_B = \frac{14,65 \cdot 5}{20} \approx 3,66 \text{ МПа.}$$

Контрольные вопросы и задания

1. Определите крутящий момент в сечении 2-2 (рисунок 2).

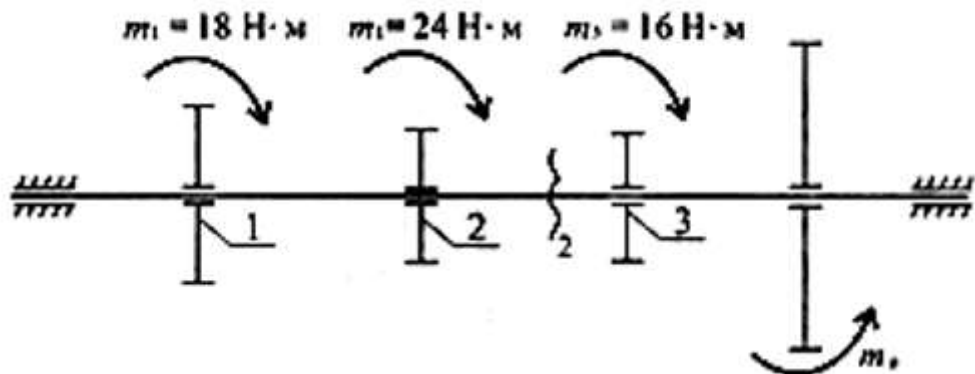


Рисунок 2 — Схема вала

2. В каком порядке рациональнее расположить шкивы, чтобы получить минимальную нагрузку на вал? Использовать схему рисунок 2.

3. Как изменится напряжение в сечении, если диаметр вала уменьшить в два раза?

4. Проведены расчеты вала на прочность и жесткость. Получено: диаметр вала из расчета на прочность 65 мм, диаметр вала из расчета на жесткость 70 мм. Каким должен быть вал?

5. Как изменится угол закручивания вала, если крутящий момент увеличить в 4 раза, а диаметр уменьшить в 2 раза?

6. Напишите условия прочности и жесткости при кручении.

Порядок выполнения работы:

1 Рассмотреть теоретические положения.

2 Изучить методику расчета на прочность при растяжении и сжатии.

3 Ответить на контрольные вопросы.

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 4.4 Кручение

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:

У 2.1.07. 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.

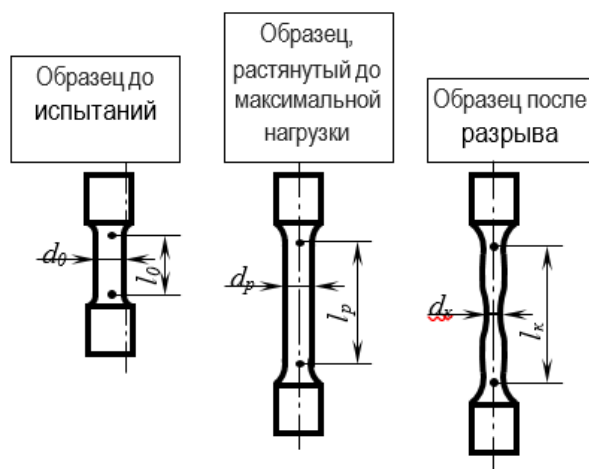


Рисунок 1 - Схема цилиндрического образца на различных стадиях растяжения

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:

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

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

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 ОА зависимость между нагрузкой Р 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_{nc} – 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.

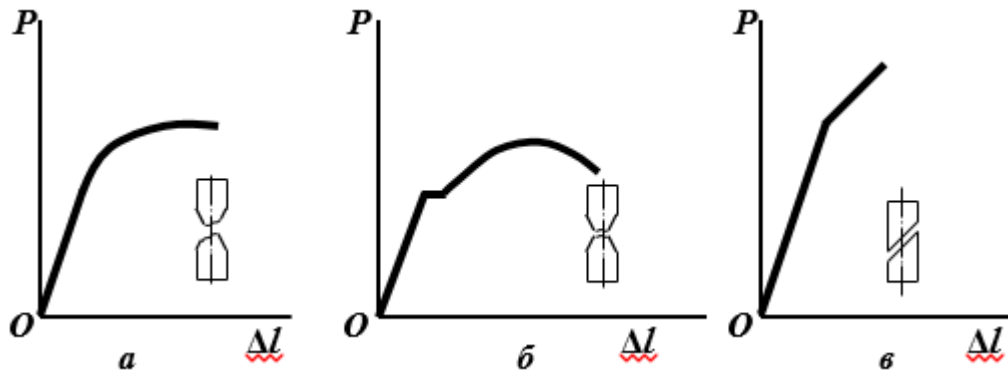


Рисунок 2 - Диаграмма растяжения:

- 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)

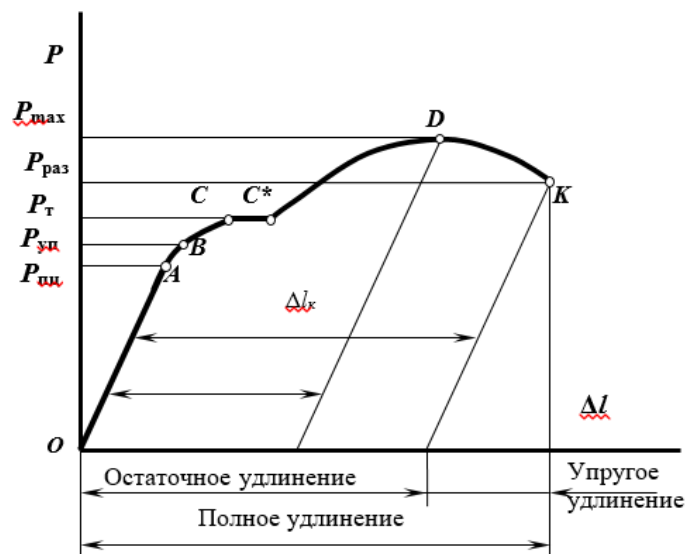


Рисунок 3 - Характерные участки и точки на диаграмме растяжения

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

$$\sigma_{yn} = \frac{P_{yn}}{F_0}$$

σ_{yn} – предел упругости МПа;

P_{yn} – нагрузка в точке B , Н;

F_0 – начальная площадь поперечного сечения образца, мм².

Точки A и B лежат обычно близко друг от друга, поэтому на практике для стали $\sigma_{ни} \approx \sigma_{yn}$. 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 №12.

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:

У 2.1.07. 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.

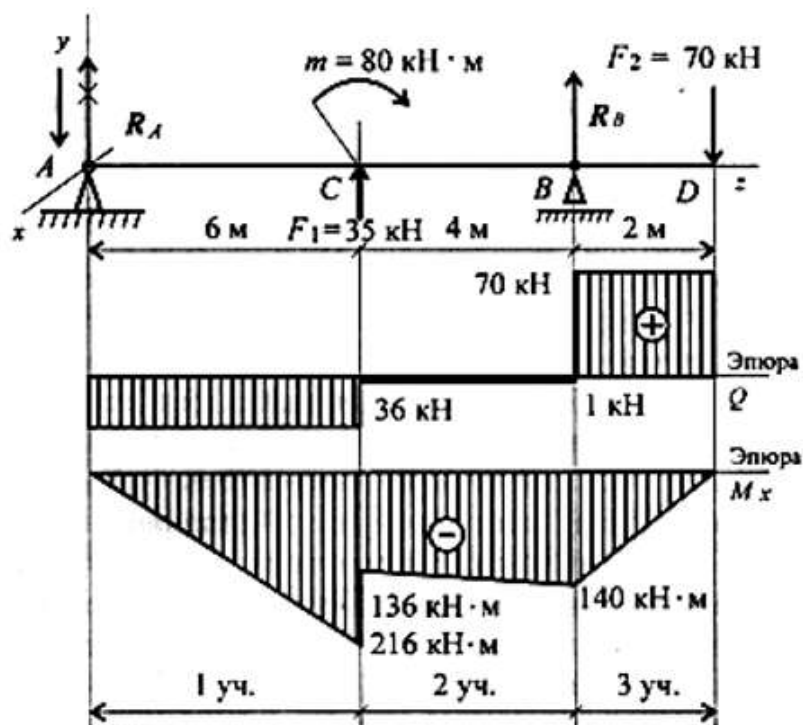


Рисунок 1 – Эпюры поперечных сил и изгибающих моментов 2-х опорной балки
Для двух опорной балки построение эпюр начинают с определения опорных реакций балки. Для их определения используем систему уравнений равновесия,

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 $M_B = -R_A \cdot 10 + F_1 \cdot 4 + m$; $M_B = -36 \cdot 10 + 35 \cdot 4 + 80 = -140 \text{ кН} \cdot \text{м}$.

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,
 $Q_B = -1 + 71 = 70$ 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 № 13
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:

У 2.1.07. 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

$$M_u = \sqrt{M_{x \max}^2 + M_{y \max}^2} = 69 \text{ Нм};$$

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

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

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

$$\sigma_m = 0;$$

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

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

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

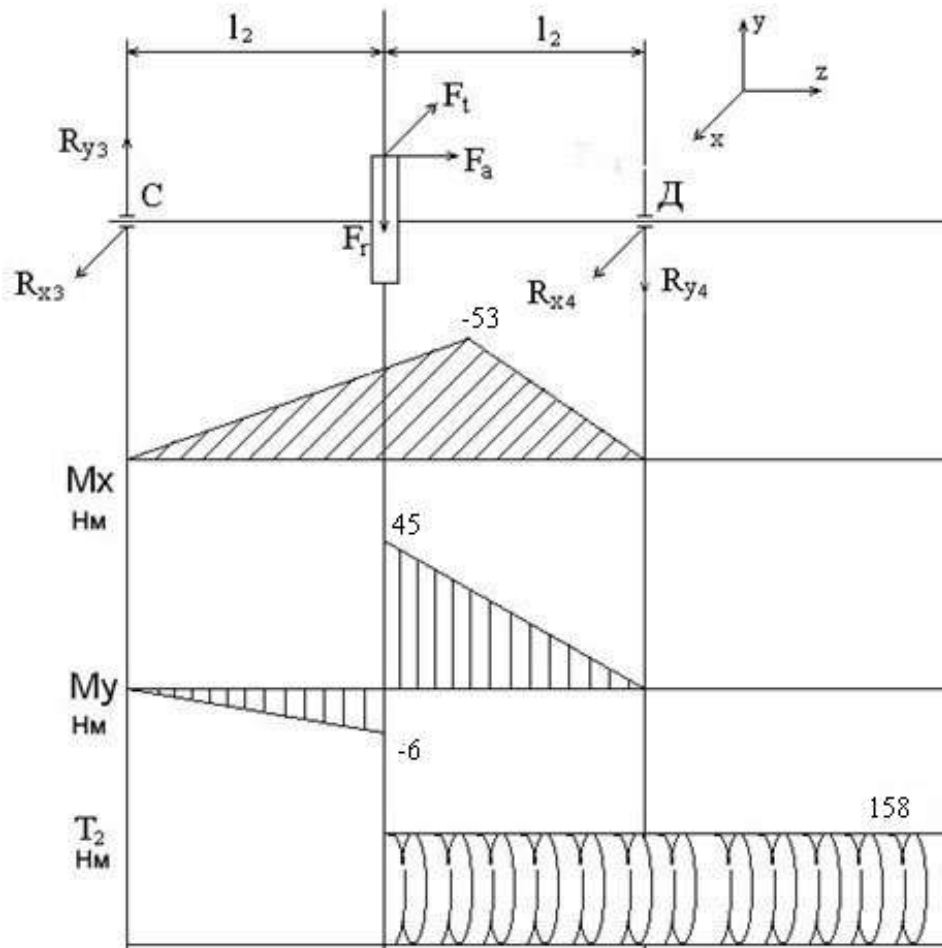


Рисунок 1 - Ведомый вал редуктора

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.

Практическое занятие № 14

Определение опасного сечения балки. Определение рациональных сечений балки

Цель: знать основные правила и порядок построения эпюр поперечных сил и изгибающих моментов. Уметь определять опасное сечение балки и выбирать рациональное сечение.

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

У 2.1.07. определять напряжения в конструктивных элементах.

Материальное обеспечение:

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

Задание:

По методу сечений построить эпюры изгибающих моментов. Определить опасное сечение. Подобрать рациональное сечение.

Краткие теоретические сведения:

Определим рациональные сечения при изгибе, для этого сравним моменты сопротивления простейших сечений.

Осевой момент инерции прямоугольника (рис. 1, вывод формулы в лекции 25) равен

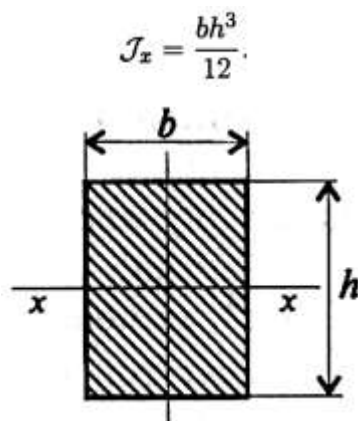


Рисунок 1 - Прямоугольник

Осевой момент сопротивления прямоугольника

$$W_x = \frac{J_x}{h/2} = \frac{bh^2}{6}$$

Сравним сопротивление изгибу двух прямоугольных сечений (рис. 2).

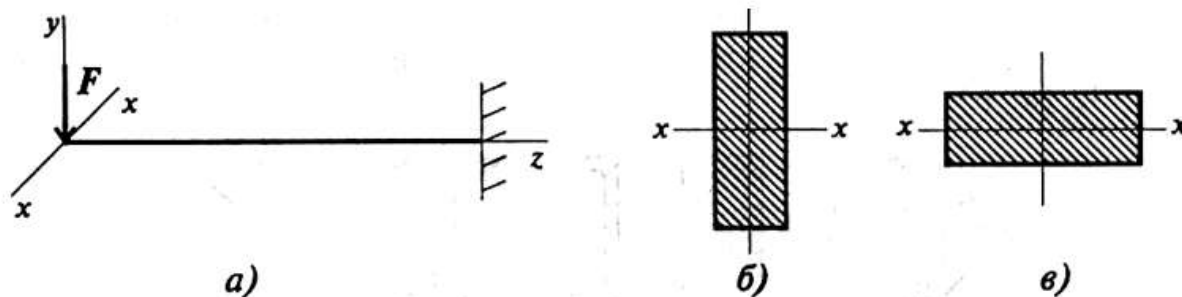


Рисунок 2 – Сравнение сопротивления изгибу двух прямоугольных сечений

Вариант на рис. 2, б обладает большим сопротивлением изгибу при прочих равных условиях.

Осевой момент инерции круга (рис. 3) равен

$$J_x = \frac{\pi d^4}{64}.$$

Осевой момент сопротивления круга

$$W_x = \frac{\pi d^3}{32}.$$

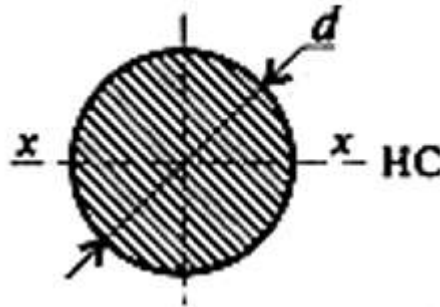


Рисунок 3 - Круг

Все необходимые расчетные данные (площади, моменты инерции и сопротивления) стандартных сечений приводятся в таблицах стандартов.

Для материалов, одинаково работающих на растяжение и сжатие, выбирают сечения, симметричные относительно оси, вокруг которой совершается изгиб (рис. 4).

Пример

Сравним моменты сопротивления двух сечений одинаковой площади: двутавра (рис. 4, г) и круга (рис. 4, а).

Двутавр № 10 имеет площадь 12 см^2 , осевой момент инерции 198 см^4 , момент сопротивления $39,7 \text{ см}^3$.

Круг той же площади имеет диаметр $d = \sqrt{4A/\pi} = 4 \text{ см}$, осевой момент инерции $J_x = 25,12 \text{ см}^4$, момент сопротивления $W_x = 6,2 \text{ см}^3$.

$$\frac{W_{x1}}{W_{x2}} = \frac{39,7}{6,2} \approx 6.$$

Сопротивление изгибу у двутавровой балки в шесть раз выше, чем у балки круглого сечения.

Из этого примера можно сделать вывод: сечения прямоугольные, квадратные, круглые и ромбовидные нерациональны (рис. 4 а, б).

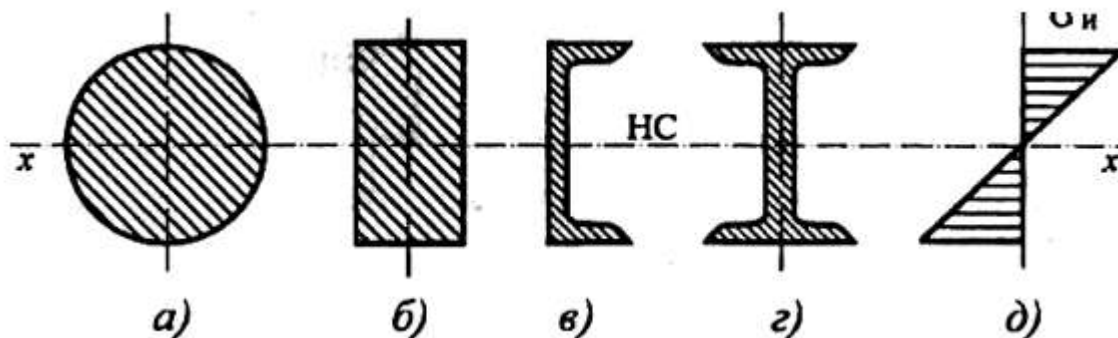


Рисунок 4 - Профили

Для материалов, обладающих разной прочностью при растяжении и сжатии (хрупкие материалы обладают значительно большей прочностью на сжатие, чем на растяжение), выбирают асимметричные сечения тавр, рельс и др.

Порядок выполнения работы:

- 1 Рассмотреть теоретические положения.
- 2 Изучить методику расчета рационального сечения балки.
- 3 Выполнить расчет.

Форма представления результата:

защита практической работы

Критерии оценки:

Оценка 3 – верно определены моменты изгиба и сопротивления, верно определено опасное сечение балки.

Оценка 4 – верно подобрано рациональное сечение балки.

Оценка 5 – устная защита работы по конспекту.

Тема 5.1 Основные положения. Общие сведения о передачах.

Фрикционные передачи и вариаторы

Практическое занятие № 15

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:

У1.1.02. производить расчеты механических передач и простейших сборочных единиц;

Материальное обеспечение:

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

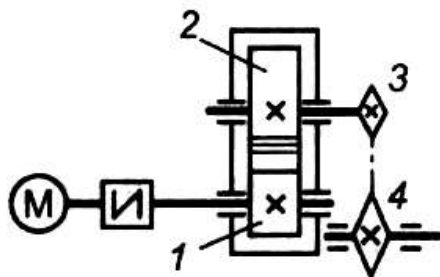
Задание:

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:

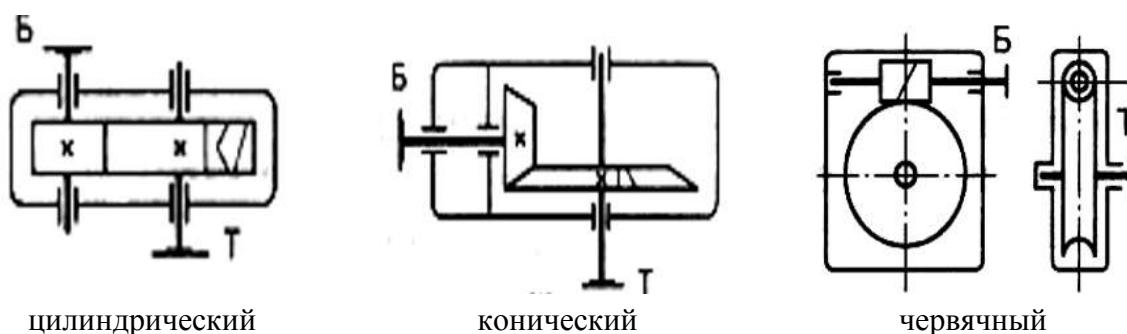
На рисунке 1 представлен привод с цепной передачей.



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.



цилиндрический

конический

червячный

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.

Лабораторное занятие № 2.

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:

У1.1.02. производить расчеты механических передач и простейших сборочных единиц

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.

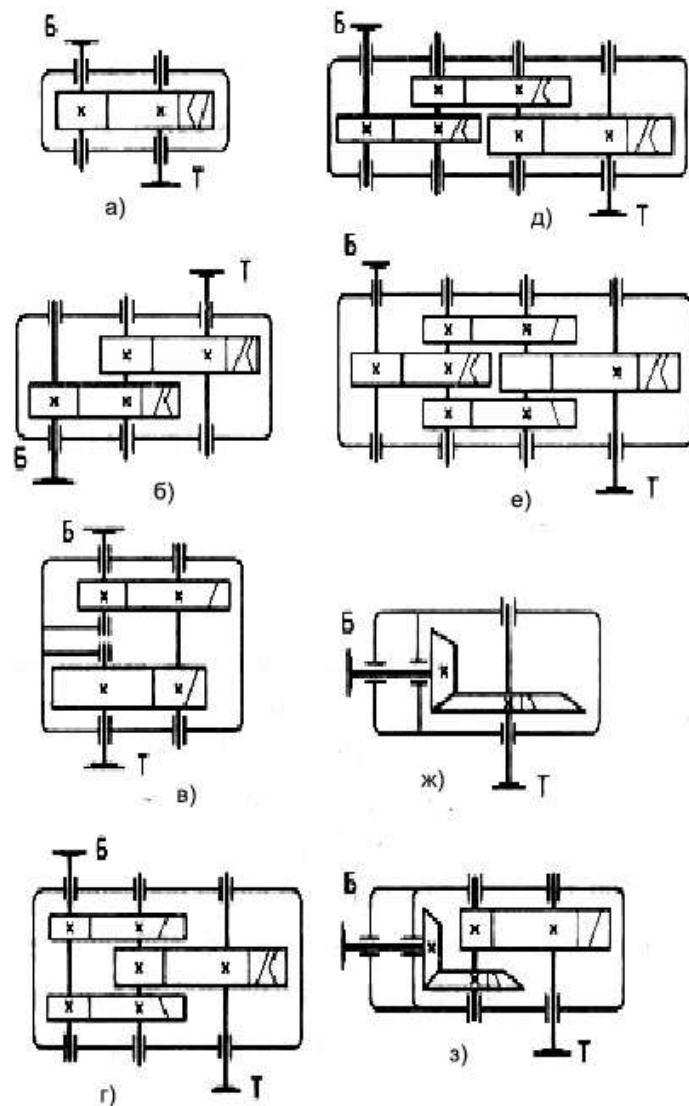


Рисунок 1 - Наиболее распространенные схемы зубчатых редукторов: а — одноступенчатый; б — двухступенчатый развернутый; в — двухступенчатый соосный; г — двухступенчатый с раздвоенной ступенью; д — трехступенчатый развернутый; е —

трехступенчатый с раздвоенной промежуточной ступенью;
 ж — конический; з — коническо-цилиндрический

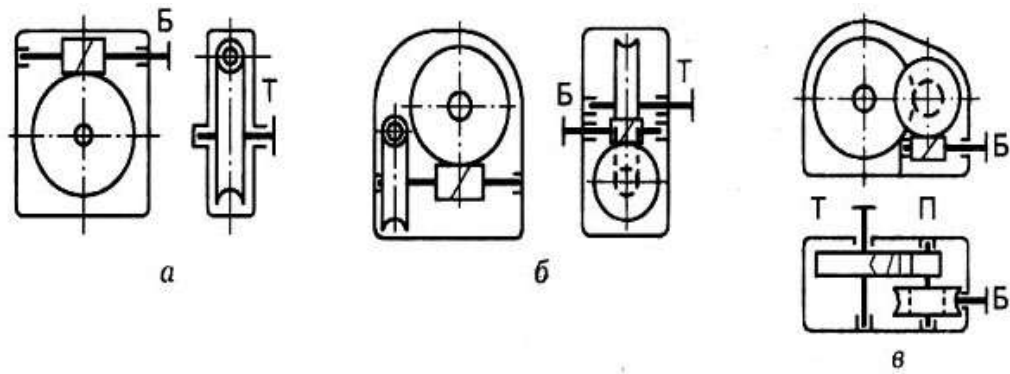


Рисунок 2 - Схемы червячных редукторов: а — одноступенчатый; б — двухступенчатый; в — червячно-цилиндрический

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

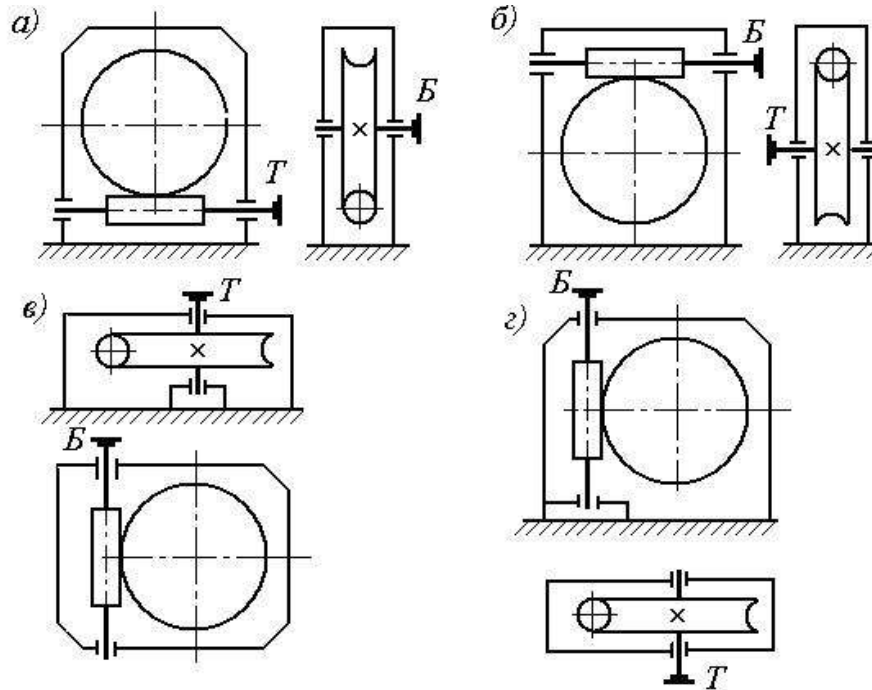


Рисунок 3 - Схемы червячных редукторов:
 а — нижний червяк; б — верхний червяк;
 в — боковой червяк; г — вертикальный червяк;

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).

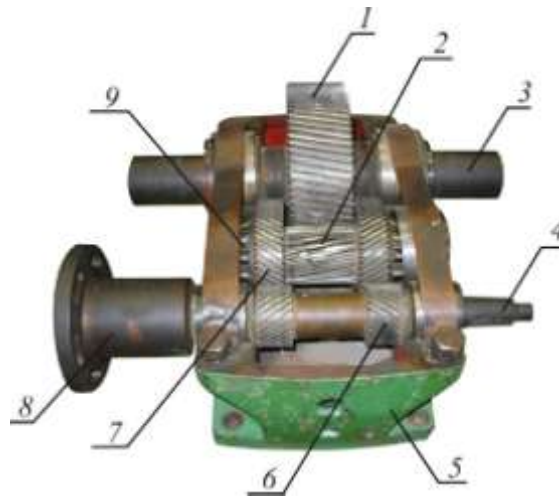


Рисунок 4 - Редуктор двухступенчатый цилиндрический: 1, 7 — зубчатые колеса; 2, 6 — шестерни; 3, 4 — тихоходный и быстроходный валы; 5 — корпус; 8 — полумуфта; 9 — подшипник

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

Практическое занятие №16.

Расчет валов на прочность и жесткость

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

Выполнив работу, Вы будете:

уметь:

У 2.1.07. определять напряжения в конструкционных элементах

Материальное обеспечение:

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

Задание:

Рассчитать тихоходный вал редуктора на прочность и жесткость (по вариантам)

Краткие теоретические сведения:

Расчет валов проводится в два этапа: проектировочный только под действием крутящего момента и проверочный расчет с учетом крутящего и изгибающего моментов.

1. *Проектировочный* (предварительный) расчет вала проводят по формуле

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{M_k}{0,2[\tau_k]}}$$

где M_k — крутящий момент, $M_k = T$; T — вращающий момент на валу; d — диаметр вала; $[\tau_k]$ — допускаемое напряжение при кручении, $[\tau_k] = 20 \dots 30$ МПа.

Полученное значение диаметра вала округляют до ближайшего большего размера. Форму и размеры вала уточняют при эскизной проработке вала после определения размеров колес, муфт и подшипников, по которым определяют длину шеек и цапф вала.

Проверочный расчет спроектированного вала проводят по сопротивлению усталости и на жесткость.

Предварительно определяют все конструктивные элементы вала, обработку и качество поверхности отдельных участков. Составляется расчетная схема вала и наносятся действующие нагрузки.

2. *Проверочный уточненный расчет на сопротивление усталости* заключается в определении расчетных коэффициентов запаса прочности в опасных сечениях, выявленных по эпюрам моментов с учетом концентрации напряжений.

Амплитуда цикла изменения напряжений изгиба вала

$$\sigma_a = \sigma_{\max} = \frac{M_{\text{изг}}}{W_{\text{ос}}}$$

где $M_{\text{изг}}$ — изгибающий момент;

амплитуда отнулевого цикла изменения напряжений кручения

$$\tau_a = \frac{\tau_{\max}}{2} = \frac{M_k}{2W_p}$$

где $W_{\text{ос}}$, W_p — момент сопротивления изгибу и кручению сечений вала соответственно.

Запас прочности вала:

по нормальным напряжениям

$$s_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1}}{K_{\sigma D} \sigma_a};$$

по касательным напряжениям

$$s_{\tau} = \frac{\tau_{-1}}{K_{\tau D} \tau_a},$$

где σ_{-1} — предел выносливости при расчете на изгиб; τ_{-1} — предел выносливости при расчете на кручение; $K_{\sigma D}$, $K_{\tau D}$ — общий коэффициент концентрации напряжений при изгибе и кручении соответственно:

$$K_{\sigma D} = \left(\frac{K_{\sigma}}{K_d} + \frac{1}{K_F} - 1 \right) \frac{1}{K_v};$$

$$K_{\tau D} = \left(\frac{K_{\tau}}{K_d} + \frac{1}{K_F} - 1 \right) \frac{1}{K_v};$$

где K_{σ} , K_{τ} — коэффициенты снижения предела выносливости за счет местных концентраторов — галтелей, выточек, поперечных отверстий, шпоночных пазов (эффективный коэффициент концентрации напряжений); K_d — коэффициент влияния абсолютных размеров; K_F — коэффициент влияния обработки поверхности; K_v — коэффициент упрочнения поверхности; значения перечисленных коэффициентов приведены в специальной литературе.

Расчетный коэффициент запаса выносливости в сечении при совместном действии изгиба и кручения

$$s = \frac{s_{\sigma} s_{\tau}}{\sqrt{s_{\sigma}^2 + s_{\tau}^2}}.$$

Минимально допустимое значение коэффициента запаса прочности 1,6...2,5.

3. Упрощенный проверочный расчет на усталость проводят в предположении, что нормальные напряжения (изгиба) и касательные напряжения (кручения) меняются по симметричному циклу. Одновременное действие крутящего и изгибающего моментов рассчитывается по гипотезе наибольших касательных напряжений

$$M_{\text{экв}} = \sqrt{M_n^2 + M_k^2},$$

где M_n — суммарный изгибающий момент, геометрическая сумма изгибающих моментов в вертикальной и горизонтальной плоскостях:

$$M_n = \sqrt{(M_n^r)^2 + (M_n^h)^2}.$$

Условие сопротивления усталости

$$\sigma_{\text{экв}} = \frac{M_{\text{экв}}}{0,1d^3} \leq [\sigma_{-1u}],$$

где $\sigma_{\text{экв}}$ — эквивалентные напряжения в сечении; $M_{\text{экв}}$ — эквивалентный момент в сечении; d — диаметр вала в сечении; $[\sigma_{-1u}]$ — допускаемое напряжение изгиба при симметричном цикле изменения напряжений.

В большинстве случаев ограничиваются упрощенным проверочным расчетом. В специальных случаях используют коленчатые (непрямые) валы и валы с изменяемой формой геометрической оси (гибкие). Используют сплошные и полые (с осевым отверстием) валы.

Порядок выполнения работы:

- 1 Рассмотреть теоретические положения.
- 2 Изучить методику расчета тихоходного ала редуктора на прочность и жесткость.
- 3 Выполнить расчет.
- 4 Сделать вывод.

Форма представления результата: защита практической работы

Критерии оценки:

- Оценка 3 – верно выполнен расчет на жесткость;
- Оценка 4 – верно выполнены расчеты на жесткость и прочность;
- Оценка 5 – работа устно защищена по конспекту.

Тема 5.3 Валы и оси. Опоры валов и осей

Практическое занятие №17.

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 2.1.07. определять напряжения в конструкционных элементах

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	C ₀ , кН
Шестерня	308	40	90	23	31,3	22,3
Колесо	311	55	120	29	54,9	41,8

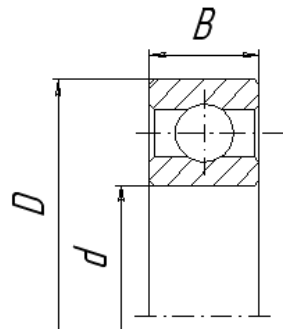


Рисунок 1 - Подшипник радиальный однорядный

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

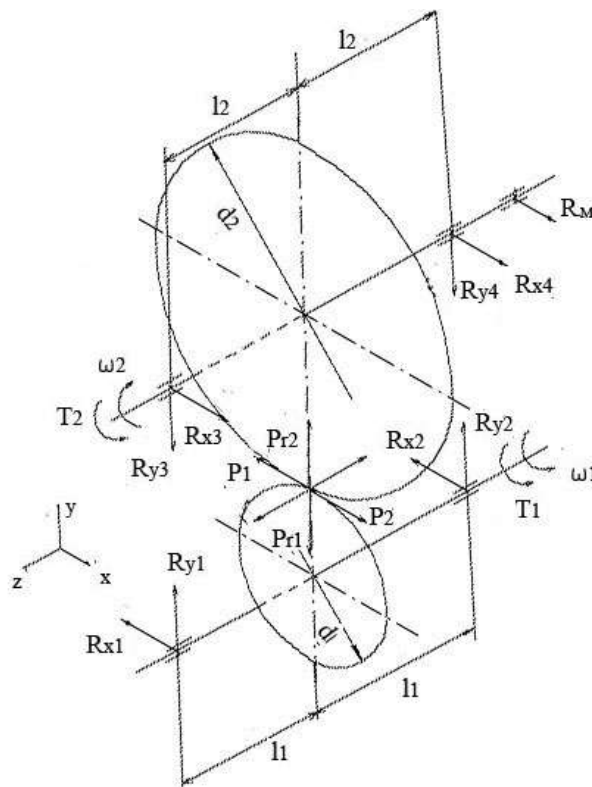


Рисунок 2 - Схема нагружения валов

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:

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

Расчетная долговечность:

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

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:

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

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.