

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

**Краевое государственное бюджетное образовательное учреждение
среднего профессионального образования
(среднее специальное учебное заведение)
«Дивногорский гидроэнергетический техникум»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
и
КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ**

для студентов-заочников

**по дисциплине
«ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА»**

для специальности:

**190629 – «Техническая эксплуатация подъемно-транспортных,
строительных, дорожных машин и оборудования»**

**Дивногорск
2014 г.**

Методические указания составлены в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины одобренной комиссией профессионального цикла

Протокол № 1 от «11» 06 2014 г.

утвержденной заместителем директора по учебной работе Романовой Н.В.

Рассмотрена и одобрена
на заседании комиссии
профессионального цикла
специальности
«Техническая эксплуатация
подъемно – транспортных,
строительных, дорожных
машин и оборудования»

УТВЕРЖДАЮ:
Заместитель директора
по учебной работе

Н.В. Романова
«15» 12 2014 г.

Протокол № 4

от «12» декабрь 2014 г.

Председатель КПЦ

В.А. Злущев Злущев В.А.

Разработал:

Рязанцева Е.Г., преподаватель
Дивногорского гидроэнергетического
техникума

Содержание

	стр.
1. Введение	4
2. Тематический план	5 - 8
3. Вопросы для самоконтроля	9
4. Задания для контрольных работ	10 - 29
5. Перечень использованной литературы	30

1. Введение

Техническая механика состоит из двух разделов: технической механики и сопротивления материалов. Механика - это наука о механическом движении и взаимодействии материальных тел. Теоретическая механика – это раздел механики, в котором изучаются законы движения тел и общие свойства этих движений. Теоретическая механика состоит из трех разделов: статики, кинематики и динамики.

В результате освоения учебной дисциплины студент должен

уметь:

- выполнять основные расчеты по технической механике;
- выбирать материалы, детали и узлы на основе анализа их свойств для конкретного применения;
- производить действия с векторами, решать задачи по разделу «Статика»;
- рассчитывать передаточное отношение двухступенчатого редуктора;
- рассчитывать скорости КШМ;
- рассчитывать коэффициент полезного действия;

знать:

- основы теоретической механики, сопротивления материалов, деталей машин;
- основные положения и аксиомы статики, кинематики, динамики и деталей машин;
- элементы конструкций механизмов и машин;
- характеристики механизмов и машин;
- расчеты статики;
- методику расчета привода;
- правила расчета скоростей методом мгновенного центра;
- формулы определения коэффициента полезного действия.

Контрольные работы выполняются в одной или в разных тетрадах. Страницы тетрады необходимо пронумеровать. Задачи, выполненные не по своему варианту, не засчитываются и возвращаются студенту. Каждая задача должна выполняться с нового листа. Условие задачи списывать обязательно. После получения контрольной работы с замечаниями преподавателя, следует исправить ошибки в конце работы, озаглавив «Работа над ошибками». В случае возникновения затруднений при выполнении контрольной работы, студент должен обратиться в техникум для получения консультации.

2. Тематический план и содержание учебной дисциплины «Техническая механика»

Наименование разделов и тем	Содержание учебного материала, лабораторные и практические работы, самостоятельная работа студентов	Объем часов	Уровень освоения	Календарные сроки
1	2	3	4	5
Раздел 1.	Статика	48		
Тема 1.1. Аксиомы статики	Содержание учебного материала 1. Аксиомы статики. Понятие силы. Системы сходящихся сил 2. Силовой многоугольник. Равнодействующая, уравнивающая системы сходящихся сил 3. Проекция вектора на ось. Правило знаков сил 4. Равновесие сходящихся сил. Геометрический и аналитический метод Практические занятия: 1. Действия с векторами (решение задач) 2. Нахождение реакции связей геометрическим способом 3. Нахождение реакции связей построением в масштабе 4. Нахождение проекций сил	16 2 2 2 2 2 2 2 2 2	1 1 1 1 2 2 2 2	
Тема 1.2. Пара сил	Содержание учебного материала 1. Пара сил. Свойства пар. Условие равновесия пар 2. Понятие о моменте. Единицы измерения. Правило знаков моментов 3. Типы опор: гладкая поверхность, нить, цилиндрический шарнир, невесомый стержень, жесткая заделка. Реакции опор 4. Распределенная нагрузка. Единицы измерения. Замена распределенной нагрузки сосредоточенной силой Практические занятия: 1. Плоская система пар сил. Сложение пар (решение задач) 2. Нахождение равнодействующей методом проекций и построением силового многоугольника 3. Нахождение равнодействующей графическим методом 4. Замена распределенной нагрузки сосредоточенной силой	16 2 2 2 2 2 2 2 2 2	1 1 1 1 2 2 2 2	
Тема 1.3. Плоская система произвольно расположенных сил	Содержание учебного материала 1. Плоская система произвольно расположенных сил. Момент силы относительно точки. Аналитические условия равновесия плоской системы сил 2. Определение центра тяжести. Способы определения центра тяжести 3. Пример решения задачи на определение реакций опор балочной системы 4. Пример решения задачи на нахождение реакции и момента защемления балки защемленной	16 2 2 2 2	1 1 1 1	

1	2	3	4	5
	Практические занятия: 1. Определение центра тяжести плоской фигуры, состоящей из нескольких геометрических тел 2. Определение реакций опор балочной системы с действующей на нее распределенной нагрузкой 3. Определение реакций опор плоской системы произвольно расположенных сил 4. Определение момента защемления и реакции защемления	2 2 2 2	2 2 2 2	
Раздел 2.	Кинематика	8		
Тема 2.1. Кинематика	Содержание учебного материала 1. Кинематика. Основные понятия кинематики: скорости, ускорения, углового ускорения. Единицы измерения. Графическое изображение. Понятие о мгновенном центре скоростей 2. Виды передач, их устройство и назначение. Условные обозначения. Понятие о передаточном числе Лабораторная работа: 1. Расчет скоростей кривошипно-шатунного механизма Практические занятия: 1. Расчет двухступенчатого редуктора	8 2 2 2 2	1 1 2 2	
Раздел 3.	Динамика	8		
Тема 3.1. Динамика	Содержание учебного материала 1. Динамика. Основные законы динамики. Сила трения, коэффициент силы трения покоя и скольжения 2. Работа постоянной силы и сил, приложенных к вращающемуся твердому телу. Мощность. Коэффициент полезного действия. Единицы измерения Лабораторная работа: 1. Определение силы трения различных материалов Практические занятия: 1. Определение работы тела, движущегося по наклонной плоскости	8 2 2 2 2 2 2	1 1 2 2 2 2	
Раздел 4.	Сопротивление материалов	40		
Тема 4.1. Растяжение и сжатие	Содержание учебного материала 1. Растяжение и сжатие. Виды нагружений. Закон Гука. Расчеты на прочность, жесткость. Построение эпюр при решении задач на растяжение – сжатие Практические занятия: 1. Растяжение и сжатие бруса	4 2 2	1 2	
Тема 4.2. Срез и смятие	Содержание учебного материала 1. Срез и смятие. Напряжение и деформации при сдвиге, срезе и смятии. Расчеты на прочность Практические занятия: 1. Срез и смятие. Расчет заклепочного соединения на прочность	4 2 2	1 2	

1	2	3	4	5
Тема 4.3. Изгиб	Содержание учебного материала	20		
	1. Изгиб. Напряжение в бруске при прямом чистом изгибе. Построение эпюр поперечных сил	2	1	
	2. Построение эпюр моментов изгибающих. Определение прогибов при изгибе	2	1	
	3. Расчетная формула на прочность при прямом чистом изгибе. Пример решения задач	2	1	
	4. Понятие о моменте сопротивления материалов. Пример решения задач на изгиб с определением номера профиля проката бруса системы	2	1	
	5. Расчетные формулы определения диаметра, квадратного, кольцевого сечения. Пример решения задач	2	1	
	Практические занятия:	2	2	
	1. Определение опорных реакций балки шарнирно закрепленной двумя концами и нагруженная сосредоточенной нагрузкой. Построение эпюр	2	2	
	2. Определение опорных реакций балки шарнирно закрепленной и нагруженная сосредоточенной и распределенной нагрузками. Построение эпюр	2	2	
	3. Построение эпюр балки заделанной	2	2	
	4. Определение номера сечения двутавровой балки, диаметра сечения, квадратного сечения из расчета на прочность	2	2	
	5. Определение диаметра сечения гибких стержней			
Тема 4.4. Кручение	Содержание учебного материала	12		
	1. Кручение. Касательные напряжения, возникающие при кручении. Пример решения задач на построение эпюр при кручении	2	1	
	2. Упругая линия балки. Коэффициент упругости. Пример решения задач на определение упругости бруса	2	1	
	3. Полярный момент инерции для различных видов сечения бруса. Угол закручивания	2	1	
	Практические занятия:	2	2	
	1. Определение диаметра, сечения балки из расчета на прочность при кручении	2	2	
	2. Расчет рам. Определение реакций опор бруса	2	2	
	3. Расчет рам. Построение эпюр на растяжение, изгиб, моментов изгибающих	2	2	
Раздел 5.	Детали машин	36		
Тема 5.1. Виды передач	Содержание учебного материала	8		
	1. Виды передач. Применение, достоинства и недостатки зубчатой, червячной, ременной и фрикционной передач	2	1	
	2. Передаточное отношение, угловая скорость, вращающий момент, число оборотов – основные характеристики передач	2	1	
	Практические занятия:	2	2	
	1. Расчет двухступенчатого редуктора	2	2	
	2. Составление кинематической схемы по рисунку	2	2	

1	2	3	4	5
Тема 5.2.	Содержание учебного материала	16		
Общие сведения об устройстве зубчатых и червячных редукторов	1. Виды, назначение, классификация подшипников. Расчет по допускаемым давлениям в подшипниках 2. Виды, назначение, классификация пружин 3. Валы и оси. Расчет валов на прочность. Подбор подшипников 4. Характер соединения основных сборочных единиц. Соединение с натягом и зазором. Понятие о допусках и посадках Лабораторная работа: 1. Устройство редуктора. Разборка- сборка редуктора. Расчет передаточного отношения 2. Классификация подшипников 3. Классификация пружин Практические занятия: 1. Подбор и расчет валов	2 2 2 2 2 2 2 2	1 1 1 1 2 2 2 2	
Тема 5.3.	Содержание учебного материала	12		
Зубчатая, червячная передача	1. Зубчатая, червячная передача. Понятие о модуле, делительной окружности, высоте зуба, шаге зацепления 2. Расчет зубчатых передач. Подбор модуля. Определение межцентрового расстояния 3. Расчет червячной передачи. Подбор модуля. Определение межцентрового расстояния Лабораторная работа: 1. Основные элементы зубчатого колеса 2. Расчет и чертеж зубчатой передачи 3. Расчет ременной передачи	2 2 2 2 2 2 2	1 1 1 2 2 2 2	
	Всего:	140		

Примечание:

Для характеристики уровня освоения учебного материала используются следующие обозначения:

- 1- ознакомительный (узнавание ранее изученных объектов, свойств);
- 2- репродуктивный (выполнение деятельности по образцу, инструкции или под руководством).

обзорных лекций – 24 часа

практических занятий – 10 часов

самостоятельной работы студентов - 176 часов

3. Вопросы для самоконтроля

1. Что изучает статика – раздел теоретической механики?
2. Дать понятие абсолютно твердого тела, материальной точки, свободного и несвободного тела, силы, модуля вектора силы и линии действия силы.
3. Как формулируются аксиомы статики?
4. Что называют связью и реакцией связи?
5. Что называют распределенной нагрузкой, сосредоточенной и распределенной силой?
6. Дать определение плоской системы сходящихся сил, силового многоугольника, равнодействующей, проекции силы на оси координат.
7. Привести геометрические и аналитические условия равновесия плоской системы сходящихся сил.
8. Объяснить принцип разложения силы на две составляющие силы.
9. Как принимаются знаки проекций сил на оси координат?
10. Что называют проекцией силы относительно точки?
11. Дать определение плоской системы пар.
12. На какие три основные типы разделяются опоры и опорные реакции балок?
13. Привести аналитические условия равновесия плоской системы сил.
14. Что изучает раздел теоретической механики - кинематика?
15. Дать определение вращательного движения, передач.
16. Дать определение передаточного отношения.
17. Что изучает наука сопротивление материалов?
18. Дать определение основных понятий науки сопротивления материалов: прочности, жесткости, устойчивости.
19. Дать определение конструкций: балки, брусьев, пластины, массивов.
20. Дать определение внешних и внутренних сил.
21. Какие существуют основные деформации конструкций в процессе эксплуатации?
22. Перечислить внутренние силовые факторы.
23. В чем принцип метода сечений?
24. Как формулируется закон Гука при растяжении и сжатии?
25. Начертить пример построения эпюры продольных сил.
26. Дать понятие о кручении.
27. Начертить эпюры построения крутящихся моментов.
28. Дать понятие об изгибе.
29. Начертить пример построения эпюры поперечных сил и изгибающих моментов.
30. Расчетная формула на прочность при изгибе.

4. Задания для контрольной работы

Методические указания к выполнению контрольных работ 1,2.

Задача № 1.

К решению задачи 1 следует приступать, изучив раздел «Статика». Надо усвоить понятия «проекция силы на ось», «момент силы относительно точки», научиться составлять уравнения равновесия для плоской системы сил.

Пример 1. Жесткая рама $ADCB$ имеет в точке A неподвижную шарнирную опору, в точке B - подвижную шарнирную опору на катках. Определить реакции опор A и B .

Все действующие нагрузки и размеры показаны на рисунке.

Дано: $F_1 = 30 \text{ кН}$, $F_2 = 10 \text{ кН}$, $\alpha = 60^\circ$, $M = 20 \text{ кН}\cdot\text{м}$, $l = 0,5 \text{ м}$.

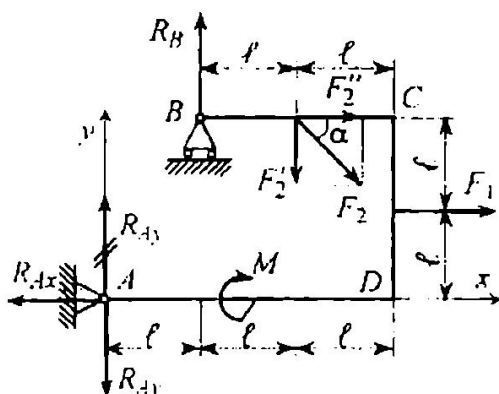


Рисунок 1.

Решение

1. Заменяем связи в точках A и B их реакциями. Реакция шарнирно-неподвижной опоры A не известна по направлению, поэтому заменим ее на две составляющие: R_{Ax} и R_{Ay} . Реакция шарнирно-подвижной опоры B R_B направлена вертикально. Вместе с заданными силами получим плоскую произвольную систему сил. Проводим оси координат x и y составляем уравнения равновесия.

2. Для удобства расчетов разложим силу F_2 на составляющие по осям координат:

$$F_2' = F_2 \sin \alpha = F_2 \sin 60^\circ = 10 \cdot 0,87 = 8,7 \text{ кН},$$

$$F_2'' = F_2 \cos \alpha = F_2 \cos 60^\circ = 10 \cdot 0,5 = 5 \text{ кН}.$$

3 Составляем уравнения равновесия:

$$\sum F_{ix} = 0: -R_{Ax} + F_1 + F_2' = 0; \quad (1)$$

$$\sum F_{iy} = 0: R_{Ay} + R_B - F_2'' = 0. \quad (2)$$

$$\sum M_A(F_i) = 0: -R_B l + F_2' \cdot 2l + F_1 l + M + F_2'' \cdot 2l = 0. \quad (3)$$

$$\sum M_A(F_i) = 0: -R_B l + F_2' \cdot 2l + F_1 l + M + F_2'' \cdot 2l = 0. \quad (3)$$

$$\text{Из (3)} \quad R_B = \frac{F_2' \cdot 2l + F_1 l + M + F_2'' \cdot 2l}{l} = \frac{8,7 \cdot 2 \cdot 0,5 + 30 \cdot 0,5 + 20 + 5 \cdot 2 \cdot 0,5}{0,5} = 97,4 \text{ кН}.$$

$$\text{Из (1)} \quad R_{Ax} = F_1 + F_2' = 30 + 5 = 35 \text{ кН}.$$

$$\text{Из (2)} \quad R_{Ay} = -R_B + F_2'' = -97,4 + 8,7 = -88,7 \text{ кН}.$$

Следовательно, R_{Ay} направлена противоположно принятому направлению. Меняем направление и в дальнейшем расчете учитываем новое направление R_{Ay} (сделать зачеркивание на схеме).

Составляем проверочное уравнение, не использованное в решении:

$$\begin{aligned}\sum M_C = 0 & \quad R_B \cdot 2\ell - F_2' \ell - R_{Ay} \cdot 3\ell + M + R_{Ax} \cdot 2\ell - F_1 \ell = \\ & = 97,4 \cdot 2 \cdot 0,5 - 8,7 \cdot 0,5 - 88,7 \cdot 3 \cdot 0,5 + 20 + 35 \cdot 2 \cdot 0,5 - 30 \cdot 0,5 = 152,4 - 152,4 = 0.\end{aligned}$$

Следовательно, реакции определены верно.

О т в е т : $R_{Ax} = 35$ кН, $R_{Ay} = 88,7$ кН, $R_B = 97,4$ кН.

Задача № 2.

Задача № 2 требует от студента умения строить эпюры продольных сил, нормальных напряжений и определять удлинение или укорочение бруса. Следует изучить тему «Растяжение и сжатие» в разделе «Сопротивление материалов».

Последовательность решения задачи:

1. Разбить брус на участки, начиная от свободного конца. Границами участков являются сечения, в которых или приложены внешние силы, или изменяются размеры поперечного сечения.

2. Определить по методу сечений продольную силу для каждого участка (ординаты эпюры N) и построить эпюру продольных сил N . Проведя параллельно оси бруса базовую (нулевую) линию эпюры, отложить перпендикулярно ей в произвольном масштабе получаемые значения ординат. Через концы ординат провести линии, проставить знаки и заштриховать эпюру линиями, параллельными ординатам.

3. Для построения, эпюры нормальных напряжений определяем напряжения в поперечных сечениях каждого из участков. В пределах каждого участка напряжения постоянны, т. е. эпюра на данном участке изображается прямой, параллельной оси бруса.

4. Перемещение свободного конца бруса определяем как сумму удлинений (укорочений) участков бруса, вычисленных по формуле Гука.

Пример 2. Для данного ступенчатого бруса (рисунок 2) построить эпюру продольных сил, эпюру нормальных напряжений и определить перемещение свободного конца.

Д а н о: $F_1 = 30 \text{ кН} = 30 \cdot 10^3 \text{ Н}$; $F_2 = 38 \text{ кН} = 38 \cdot 10^3 \text{ Н}$; $F_3 = 42 \text{ кН} = 42 \cdot 10^3 \text{ Н}$;
 $A_1 = 1,9 \text{ см}^2 = 1,9 \cdot 10^2 \text{ мм}^2$; $A_2 = 3,1 \text{ см}^2 = 3,1 \cdot 10^2 \text{ мм}^2$; $E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

Р е ш е н и е

1. Отмечаем участки, как показано на рисунке.
2. Определяем значения продольной силы N на участках бруса:

$$N_I = 0; \quad N_{II} = F_1 = 30 \text{ кН}; \quad N_{III} = F_1 = 30 \text{ кН}; \\ N_{IV} = F_1 - F_2 = -8 \text{ кН}; \quad N_V = F_1 - F_2 - F_3 = -50 \text{ кН}.$$

Строим эпюру продольных сил (рисунок).

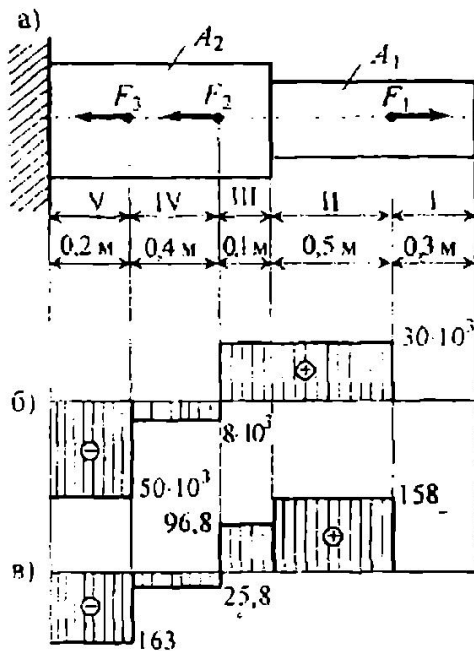


Рисунок 7

3. Вычисляем значения нормальных напряжений:

$$\sigma_I = \frac{N_I}{A_I} = 0;$$

$$\sigma_{II} = \frac{N_{II}}{A_I} = \frac{30 \cdot 10^3}{1,9 \cdot 10^2} = 158 \text{ Н/мм}^2 = 158 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{III} = \frac{N_{III}}{A_2} = \frac{30 \cdot 10^3}{3,1 \cdot 10^2} = 96,8 \text{ Н/мм}^2 = 96,8 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{IV} = \frac{N_{IV}}{A_2} = -\frac{8 \cdot 10^3}{3,1 \cdot 10^2} = -25,8 \text{ Н/мм}^2 = -25,8 \text{ МПа};$$

$$\sigma_V = \frac{N_V}{A_2} = -\frac{50 \cdot 10^3}{3,1 \cdot 10^2} = -163 \text{ Н/мм}^2 = -163 \text{ МПа}.$$

Строим эпюру нормальных напряжений (рисунок 7в).

4. Определяем перемещение свободного конца бруса:

$$\Delta \ell = \Delta \ell_I + \Delta \ell_{II} + \Delta \ell_{III} + \Delta \ell_{IV} + \Delta \ell_V;$$

$$\Delta \ell_I = \frac{N_I \ell_I}{EA_I} = 0;$$

$$\Delta \ell_{II} = \frac{N_{II} \ell_{II}}{EA_I} = \frac{30 \cdot 10^3 \cdot 0,5 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^5 \cdot 1,9 \cdot 10^2} = 0,394 \text{ мм};$$

$$\Delta \ell_{III} = \frac{N_{III} \ell_{III}}{EA_2} = \frac{30 \cdot 10^3 \cdot 0,1 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^5 \cdot 3,1 \cdot 10^2} = 0,0484 \text{ мм};$$

$$\Delta \ell_{IV} = \frac{N_{IV} \ell_{IV}}{EA_2} = -\frac{8 \cdot 10^3 \cdot 0,4 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^5 \cdot 3,1 \cdot 10^2} = -0,0516 \text{ мм};$$

$$\Delta \ell_V = \frac{N_V \ell_V}{EA_2} = -\frac{50 \cdot 10^3 \cdot 0,2 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^5 \cdot 3,1 \cdot 10^2} = -0,161 \text{ мм}.$$

$$\Delta \ell = 0,394 + 0,0484 - 0,0516 - 0,161 \approx 0,23 \text{ мм}.$$

Брус удлиняется на 0,23 мм.

Задача № 3.

К решению задачи 3 следует приступать, изучив тему «Изгиб» в разделе «Соппротивление материалов». Следует усвоить понятия «поперечная сила» и «изгибающий момент», изучив эти понятия по указанной в методических указаниях литературе, ответив на вопросы по этой теме и разобрав рассмотренный пример.

Пример 3. Для заданной двухопорной балки (рисунок 3) определить реакции опор, построить эпюры поперечных сил, изгибающих моментов и определить размеры поперечного сечения (h, b, d) в форме прямоугольника или круга, приняв для прямоугольника $h/b = 1,5$. Считать $[\sigma] = 160$ МПа.

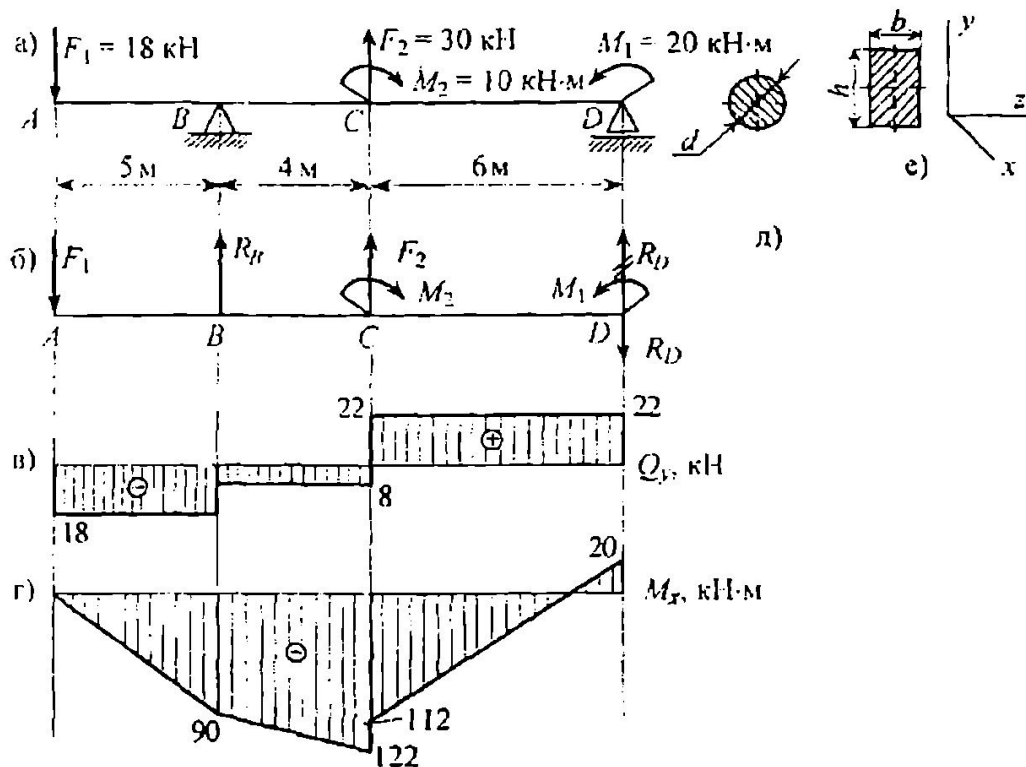


Рисунок 3.

Решение

1. Определяем опорные реакции и проверяем их найденные значения (рисунок):

$$\sum M_D = 0; \quad \sum M_D = -M_1 + F_2 CD + M_2 + R_B BD - F_1 AD = 0;$$

$$R_B = \frac{M_1 - F_2 CD - M_2 + F_1 AD}{BD} = \frac{20 - 30 \cdot 6 - 10 + 18 \cdot 15}{10} = 10 \text{ кН};$$

$$\sum M_B = 0; \quad \sum M_B = -F_1 AB + M_2 - F_2 BC - R_D BD - M_1 = 0;$$

$$R_D = \frac{-F_1 AB + M_2 - F_2 BC - M_1}{BD} = \frac{-18 \cdot 5 + 10 - 30 \cdot 4 - 20}{10} = -22 \text{ кН}.$$

Так как реакция R_D получилась со знаком минус, то изменяем ее первоначальное направление на противоположное. Истинное направление реакции R_D - вниз.

Проверка: $\sum Y_i = -F_1 + R_B + F_2 - R_D = -18 + 10 + 30 - 22 = 0$.

Условие статики $\sum Y_i = 0$ выполняется, следовательно, реакции опор определены верно. При построении эпюр используем только *истинные направления реакций опор*.

2. Делим балку на участки по характерным сечениям A, B, C, D (рисунок 3).

3. Определяем в характерных сечениях значения поперечной силы Q_y и строим эпюру слева направо (рисунок 3в).

$$Q_A^{\text{np}} = -F_1 = -18 \text{ кН};$$

$$Q_B^{\text{лсв}} = -F_1 = -18 \text{ кН}; \quad Q_B^{\text{np}} = -F_1 + R_B = -18 + 10 = -8 \text{ кН};$$

$$Q_C^{\text{лсв}} = -F_1 + R_B = -18 + 10 = -8 \text{ кН}; \quad Q_C^{\text{np}} = -F_1 + R_B + F_2 = -18 + 10 + 30 = 22 \text{ кН};$$

$$Q_D^{\text{лсв}} = -F_1 + R_B + F_2 = 22 \text{ кН}.$$

4. Вычисляем в характерных сечениях значения изгибающего момента M_x и строим эпюру (рисунок 3).

5.

$$M_A = 0;$$

$$M_B = -F_1 AB = -18 \cdot 5 = -90 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_C^{\text{лсв}} = -F_1 AC + R_B BC = -18 \cdot 9 + 10 \cdot 4 = -122 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_C^{\text{np}} = -F_1 AC + R_B BC + M_2 = -18 \cdot 9 + 10 \cdot 4 + 10 = -112 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_D^{\text{лсв}} = -F_1 AD + R_B BD + M_2 + F_2 CD = -18 \cdot 15 + 10 \cdot 10 + 10 + 30 \cdot 6 = 20 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

5. Подбираем размер сечения данной балки по двум вариантам:

а) сечение - прямоугольник с заданным соотношением сторон (рисунок);

б) сечение - круг (рисунок).

Условие прочности на изгиб для материалов, одинаково сопротивляющихся растяжению и сжатию (сталь, дерево), имеет вид:

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

где M_{\max} - максимальный изгибающий момент;

W_x - осевой момент сопротивления сечения.

Вычисление размеров *прямоугольного сечения*:

$$W_x = \frac{M_{x\max}}{[\sigma]} = \frac{122 \cdot 10^6}{160} = 0,762 \cdot 10^6 \text{ мм}^3.$$

Используя формулу $W_x = \frac{bh^2}{6}$ и учитывая, что $h = 1,5b$, находим

$$W_x = \frac{b(1,5b)^2}{6} = \frac{2,25b^3}{6},$$

$$b = \sqrt[3]{\frac{6W_x}{2,25}} = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot 0,762 \cdot 10^6}{2,25}} = 10^2 \cdot \sqrt[3]{2,06} = 127 \text{ мм}, \quad h = 1,5 \cdot 127 = 190 \text{ мм}.$$

Диаметр круглого сечения находим, используя формулу $W_x = \frac{\pi d^3}{32}$,

$$d = \sqrt[3]{\frac{32W_x}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 0,762 \cdot 10^6}{3,14}} = 196 \text{ мм}.$$

Если требуется определить номер швеллера или двутавра $W_x = 762 \cdot 10^3 \text{ мм}^3 = 762 \text{ см}^3$ по ГОСТ (приложения 1 и 2), выбираем двутавр № 36 с $W_x = 743 \text{ см}^3$ или швеллер № 40 с $W_x = 761 \text{ см}^3$.

Задача № 4.

Для решения задачи 4 следует усвоить тему «Совместное действие изгиба и кручения».

Пример 4. Для стального вала круглого поперечного сечения с одним зубчатым колесом (рисунок4), передающего мощность $P = 12 \text{ кВт}$ при угловой скорости $\omega = 40 \text{ рад/с}$, определить диаметр вала в опасном сечении, приняв $[\sigma] = 60 \text{ МПа}$ и полагая, что $F_r = 0,4F_t$.

Решение

1. Составим расчетную схему, заменив связи (подшипники) их реакциями.

2. Момент, передаваемый валом, $M = \frac{P}{\omega} = \frac{12 \cdot 10^3}{40} = 300 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

3. Окружная сила $F_t = \frac{2M}{D} = \frac{2 \cdot 300 \cdot 10^3}{300} = 2000 \text{ Н}$.

4. Радиальная сила $F_r = 0,4F_t = 0,4 \cdot 2000 = 800 \text{ Н}$.

5. Находим опорные реакции подшипников от окружной силы F_t (рисунок):

$$\sum M_A = 0; \quad F_t \cdot 0,3 - R_{By} \cdot 0,2 = 0, \text{ откуда } R_{By} = \frac{F_t \cdot 0,3}{0,2} = \frac{2000 \cdot 0,3}{0,2} = 3000 \text{ Н};$$

$$\sum M_B = 0; \quad F_t \cdot 0,5 - R_{Ay} \cdot 0,2 = 0, \text{ откуда } R_{Ay} = \frac{F_t \cdot 0,5}{0,2} = \frac{2000 \cdot 0,5}{0,2} = 5000 \text{ Н}.$$

Проверяем правильность определения опорных реакций:

$$\sum Y = 0; \quad F_t - R_{Ay} + R_{By} = 0; \quad 2000 - 5000 + 3000 = 0.$$

6. Строим эпюры изгибающих моментов в вертикальной плоскости (рисунок).

В сечении С: $M_C = 0$.

В сечении А: $M_A = F_t \cdot 0,3 = 2000 \cdot 0,3 = 600 \text{ Н} \cdot \text{м}$.

В сечении В: $M_B = 0$.

7. Находим опорные реакции подшипников от радиальной силы F_r (рисунок):

$$\sum M_A = 0; \quad R_{Bx} \cdot 0,2 - F_r \cdot 0,3 = 0, \text{ откуда } R_{Bx} = \frac{0,3F_r}{0,2} = \frac{0,3 \cdot 800}{0,2} = 1200 \text{ Н};$$

$$\sum M_B = 0; \quad -F_r \cdot 0,5 + R_{Ax} \cdot 0,2 = 0, \text{ откуда } R_{Ax} = \frac{0,5F_r}{0,2} = \frac{0,5 \cdot 800}{0,2} = 2000 \text{ Н}.$$

Проверяем правильность определения опорных реакций:

$$\sum Y = 0; -F_r + R_{Ax} - R_{Bx} = 0; -800 + 2000 - 1200 = 0.$$

8. Строим эпюру изгибающих моментов от силы F_r , действующей в горизонтальной плоскости (рисунок 9 д).

В сечении С: $M_C = 0$.

В сечении А: $M_A = -F_r \cdot 0,3 = -800 \cdot 0,3 = -240 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

В сечении В: $M_B = 0$.

9. Из эпюр изгибающих моментов следует, что опасное сечение вала проходит через точку А. Значение крутящего момента в любом сечении вала $M_k = 300 \text{ Н}\cdot\text{м}$ (рисунок 4).

10. Определяем наибольшее значение эквивалентного момента:

$$M_{\text{э}} = \sqrt{M_x^2 + M_y^2 + M_k^2} = \sqrt{600^2 + 240^2 + 300^2} = 713 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

11. Определяем диаметр вала в опасном сечении:

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_{\text{э}}}{0,1[\sigma]}} = \sqrt[3]{\frac{713 \cdot 10^3}{0,1 \cdot 60}} = 49 \text{ мм}.$$

Полученный диаметр округляем по ГОСТу: 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90, 100 (мм). Принимаем $d = 50 \text{ мм}$.

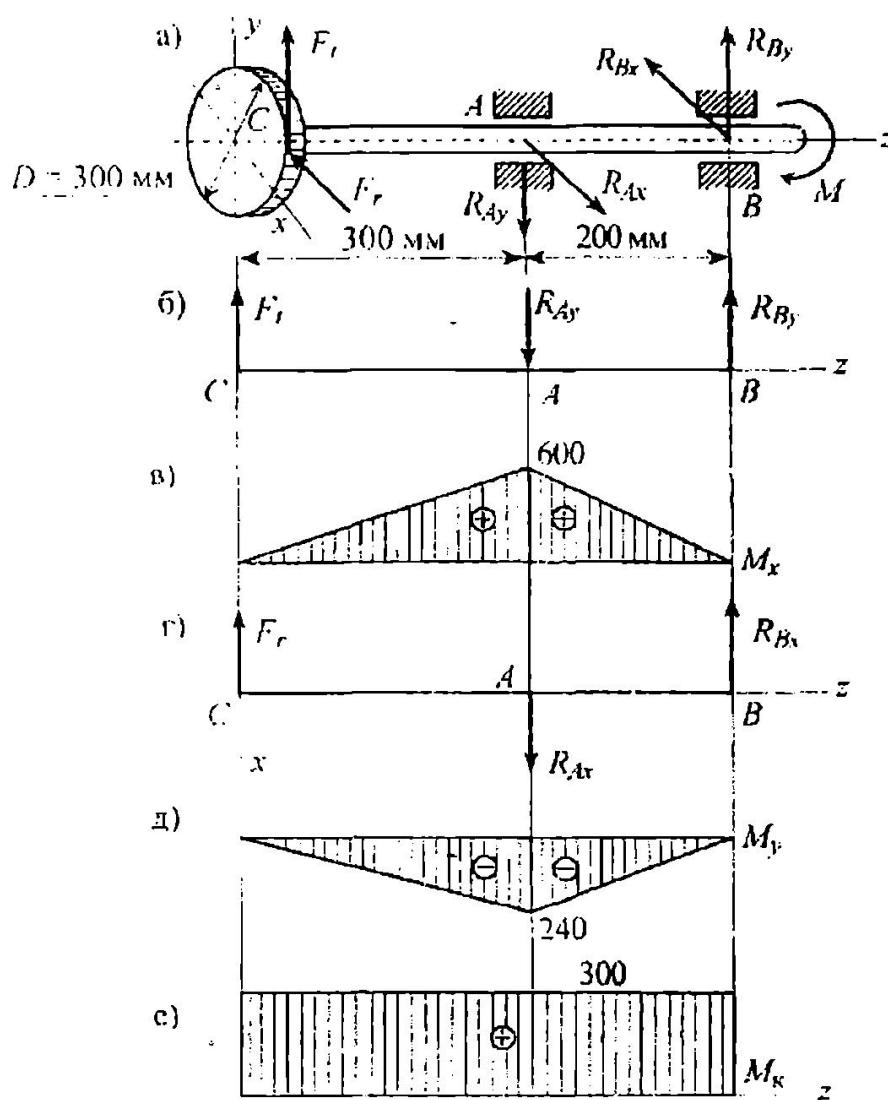


Рисунок 4.

Задача 5.

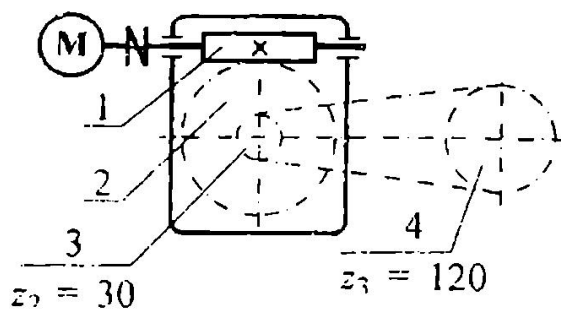


Рисунок 5.

Привод состоит из электродвигателя мощностью $P_{дв} = 4$ кВт и частотой вращения $n_{дв} = 1200$ об/мин. Требуется определить:

- общий КПД привода;
- мощности на валах;
- передаточное число цепной передачи;
- общее передаточное число;
- угловые скорости валов;
- вращающие моменты на валах.

Решение

- Кинематическая и конструктивная характеристики привода: передача двух-ступенчатая, понижающая. Первая ступень – червячный редуктор с передаточным числом $u_{ч.р} = 30$, вторая – цепная передача.
- КПД червячного редуктора примем $\eta_{ч.р} = 0,8$; КПД цепной передачи $\eta_{ц.п} = 0,92$ (таблица 2). Общий КПД привода

$$\eta_{общ} = \eta_{ч.р} \cdot \eta_{ц.п} = 0,8 \cdot 0,92 = 0,736.$$

- Мощности на валах:

$$P_1 = P_{дв} = 4 \text{ кВт};$$

$$P_2 = P_1 \eta_{ч.р} = 4 \cdot 0,8 = 3,2 \text{ кВт};$$

$$P_3 = P_2 \eta_{ц.п} = 3,2 \cdot 0,92 = 2,94 \text{ кВт}.$$

- Передаточное число цепной передачи

$$u_{ц.п} = \frac{z_4}{z_3} = \frac{120}{30} = 4$$

- Общее передаточное число привода

$$u_{общ} = u_{ч.р} u_{ц.п} = 30 \cdot 4 = 120$$

- Определяем угловые скорости на валах привода:

- угловая скорость вала электродвигателя

$$\omega_1 = \frac{\pi n_1}{30} = \frac{3,14 \cdot 1200}{30} = 120 \text{ рад/с}$$

- угловая скорость второго вала

$$\omega_2 = \frac{\omega_1}{u_{ч.р}} = \frac{120}{30} = 4 \text{ рад/с}$$

- угловая скорость третьего вала

$$\omega_3 = \frac{\omega_2}{u_{ш.п}} = \frac{4}{4} = 1 \text{ рад/с}$$

7. Определяем вращающие моменты на валах привода:

$$M_1 = \frac{P_1}{\omega_1} = \frac{4 \cdot 10^3}{120} = 33,3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_2 = \frac{P_2}{\omega_2} = \frac{3,2 \cdot 10^3}{4} = 800 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_3 = \frac{P_3}{\omega_3} = \frac{2,94 \cdot 10^3}{1} = 2,94 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Здесь: P – в Вт, ω - в рад/с, M – в Н·м.

В понижающих передачах понижение угловых скоростей валов сопровождается соответствующим повышением вращающих моментов. Мощности на валах снижаются незначительно вследствие потерь на трение в подшипниках и при взаимодействии звеньев.

Таблица 1. Средние значения КПД некоторых передач (с учетом потерь в подшипниках)

Тип передачи	Закрытая	Открытая
Зубчатая цилиндрическая	0,97	0,95
Зубчатая коническая	0,96	0,95
Цепная	-	0,92
Клиноременная	-	0,95
Червячная	0,8	-

5. Задания для контрольной работы 1.

ЗАДАЧА 1. Жесткая рама закреплена в точке A шарнирно, а в точке B - шарнирной опорой на катках. На раму действует пара сил с моментом M и две силы F_1 и F_2 . Определить реакции опор A и B .

Номер схемы (1—10) выбрать по рисунку по последней цифре шифра, значения сил, момента M и длины l - по таблице 2 по предпоследней цифре шифра.

Таблица 2

Величины	Вариант (предпоследняя цифра шифра)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F_1 , кН	10	12	14	16	18	20	22	24	26	38
F_2 , кН	25	20	22	15	30	10	13	15	25	12
M , кН·м	10	5	3	8	12	15	11	7	9	8
l , м	0,5	0,4	0,2	0,1	0,6	0,3	0,5	0,6	0,8	0,2
α , °	45°	30°	60°	30°	60°	45°	30°	45°	60°	60°

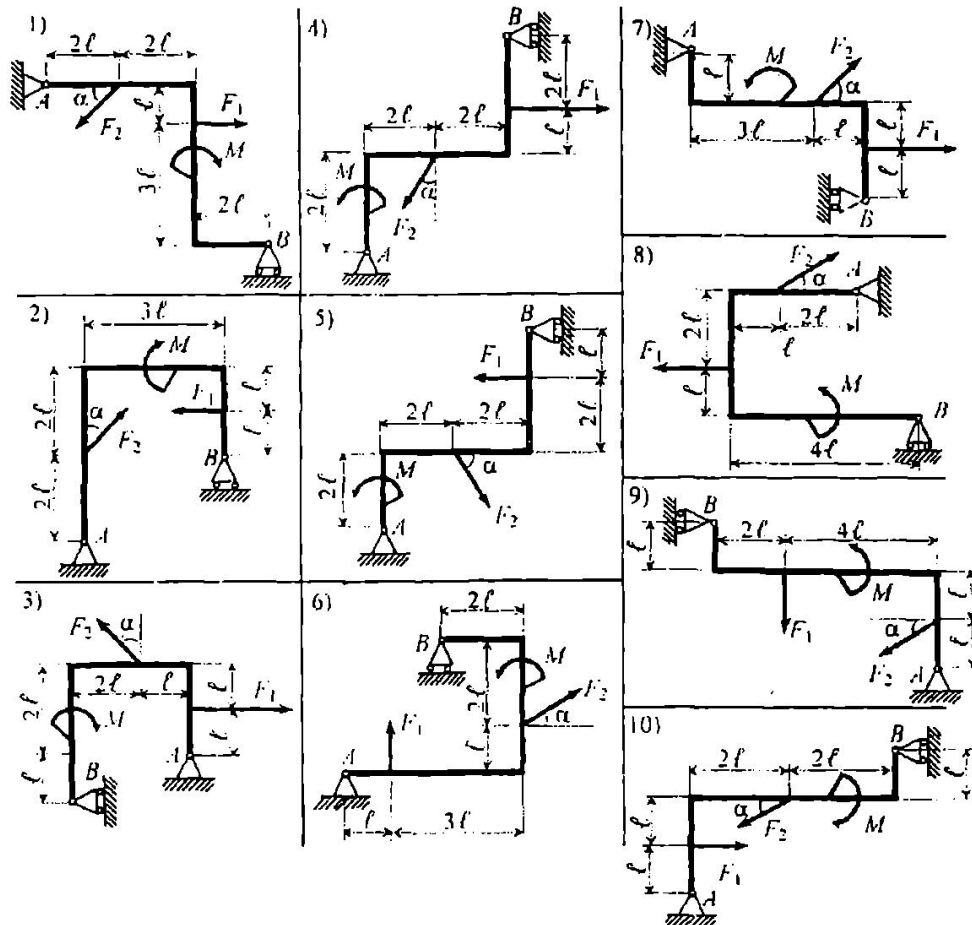


Рисунок 6.

ЗАДАЧА 2. Двухступенчатый стальной брус нагружен силами F_1 и F_2 . Построить эпюры продольных сил и нормальных напряжений по длине бруса. Определить удлинение (укорочение) бруса, приняв $E = 2 \cdot 10^5$ МПа. Сделать вывод о прочности бруса.

Номер схемы (1-10) выбрать по рисунку 7 по последней цифре шифра, числовые значения сил F_1 и F_2 , а также размеры сечений A_1 и A_2 выбрать по таблице 3 в зависимости от предпоследней цифры своего шифра.

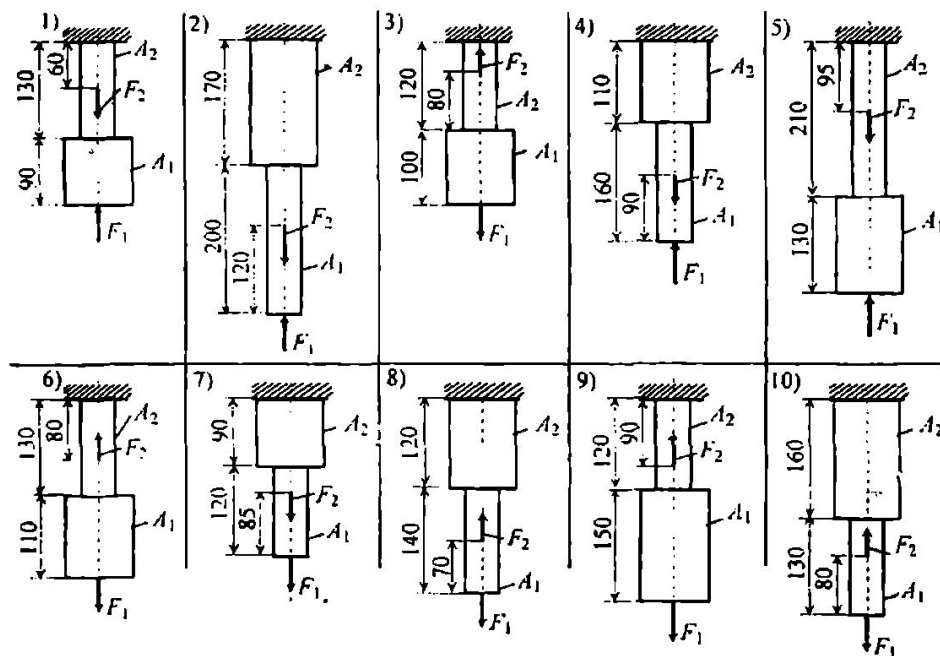


Рисунок 7

Таблица 3

Величины	Вариант (предпоследняя цифра шифра)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$F_1, \text{кН}$	10	21	16	14	15	5,0	8,0	10	18	30
$F_2, \text{кН}$	20	40	13	22	25	9,8	5,5	13	30	45
$A_1, \text{см}^2$	1,2	2,6	1,8	4,5	2,3	0,5	3	1,3	0,9	3,5
$A_2, \text{см}^2$	0,8	2	1,4	3,0	1,4	1,2	2	1,8	1,3	4,5
Размеры бруса заданы в сантиметрах										

Задания для контрольной работы 2

ЗАДАЧА 3. Для двухопорной стальной балки определить реакции опор, построить эпюры поперечных сил, изгибающих моментов и подобрать необходимые размеры поперечного сечения заданной формы, приняв $[\sigma_n]=150\text{МПа}$.

Номер схемы и вид сечения (1—10) выбрать по рисунку 8 по последней цифре шифра, а числовые значения сил и момента - по таблице 4 по предпоследней цифре шифра.

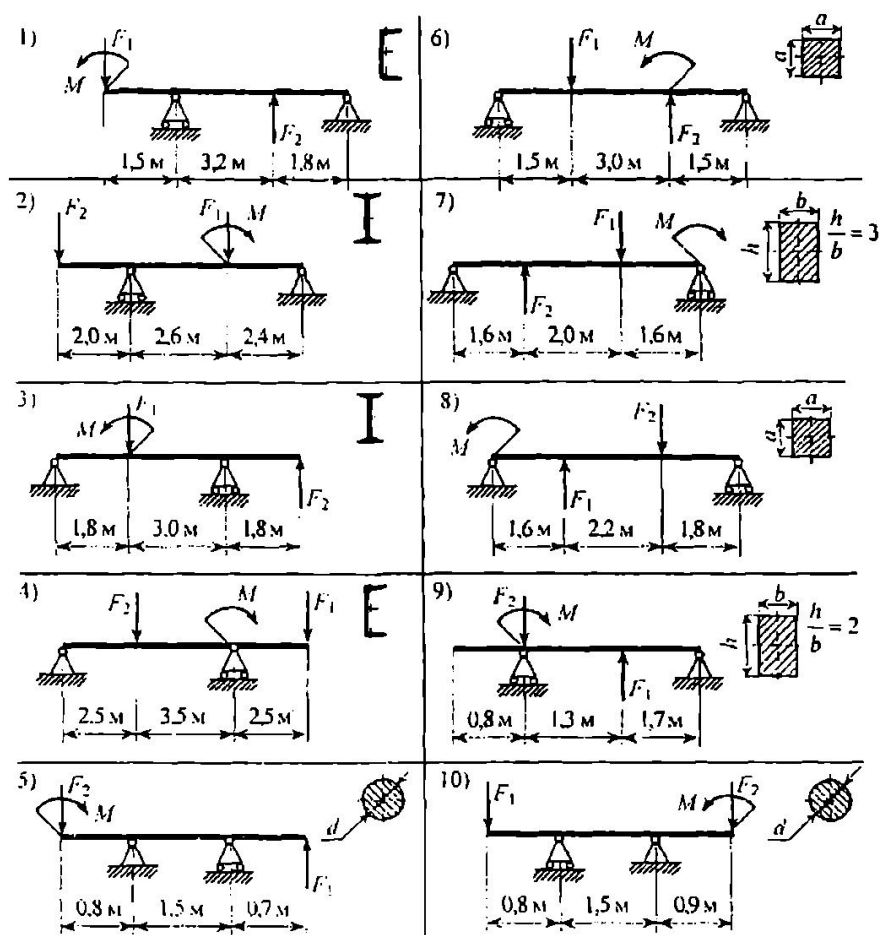
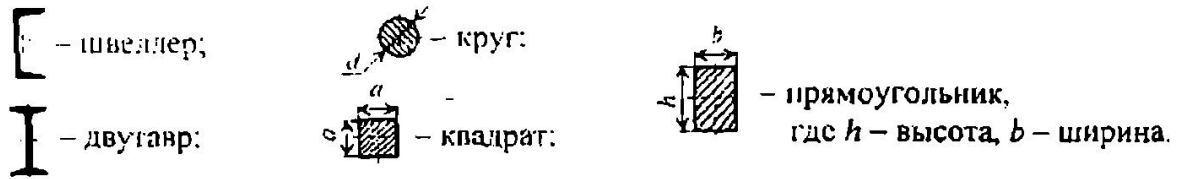


Рисунок 8.

Таблица 4

Величина	Вариант (предпоследняя цифра шифра)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F_1 , кН	26	22	20	16	11	25	18	24	13,9	28
F_2 , кН	30	40	55	24	35	12	18	29	18,4	16
M , кН·м	4,5	3,2	6,8	2,8	2,4	4,8	4,8	5,0	3,5	4

Условные обозначения к рисунку 8



ЗАДАЧА 4. Для стального вала постоянного поперечного сечения с одним зубчатым колесом, передающего мощность P (кВт) при угловой скорости ω (рад/с):

а) определить вертикальные и горизонтальные составляющие реакции подшипников;

б) построить эпюру крутящих моментов;

в) построить эпюры изгибающих моментов в вертикальной и горизонтальной плоскостях;

г) определить диаметр вала, приняв $[\sigma] = 60$ МПа и полагая, что $F_r = 0,4F_t$.

Расчет следует вести по гипотезе наибольших касательных напряжений.

Номер схемы (1-10) выбирается по рисунку 9 по последней цифре шифра, а числовые значения мощности P и угловой скорости ω – по таблице 5 по предпоследней цифре шифра.

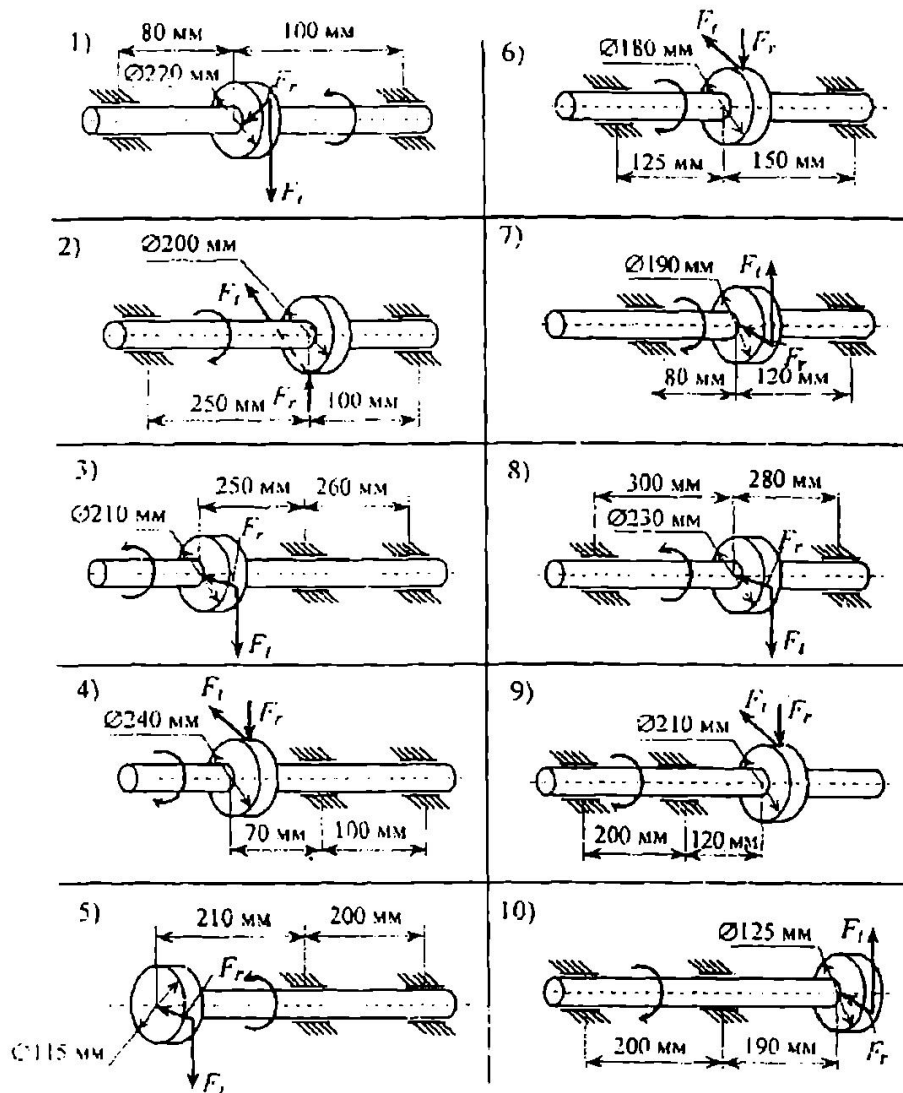


Рисунок 9.

Таблица 5.

Величина	Вариант (предпоследняя цифра шифра)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P , кВт	4	16	20	24	45	46	57	60	40	42
ω , рад/с	24	48	50	40	25	26	27	40	22	60

ЗАДАЧА 5. Привод (рисунок 10) состоит из электродвигателя мощностью $P_{дв}$ (кВт) с частотой вращения $n_{дв}$ (об/мин), редуктора и цепной (или ременной) передачи. Требуется определить:

- общий КПД привода;
- мощности на валах;
- передаточные числа отдельных передач;
- общее передаточное число;
- угловые скорости валов;
- вращающие моменты для всех валов.

Номер схемы (1-10) выбрать по рисунку 10 по последней цифре шифра, а числовые значения исходных данных - по таблице 6 по предпоследней цифре шифра.

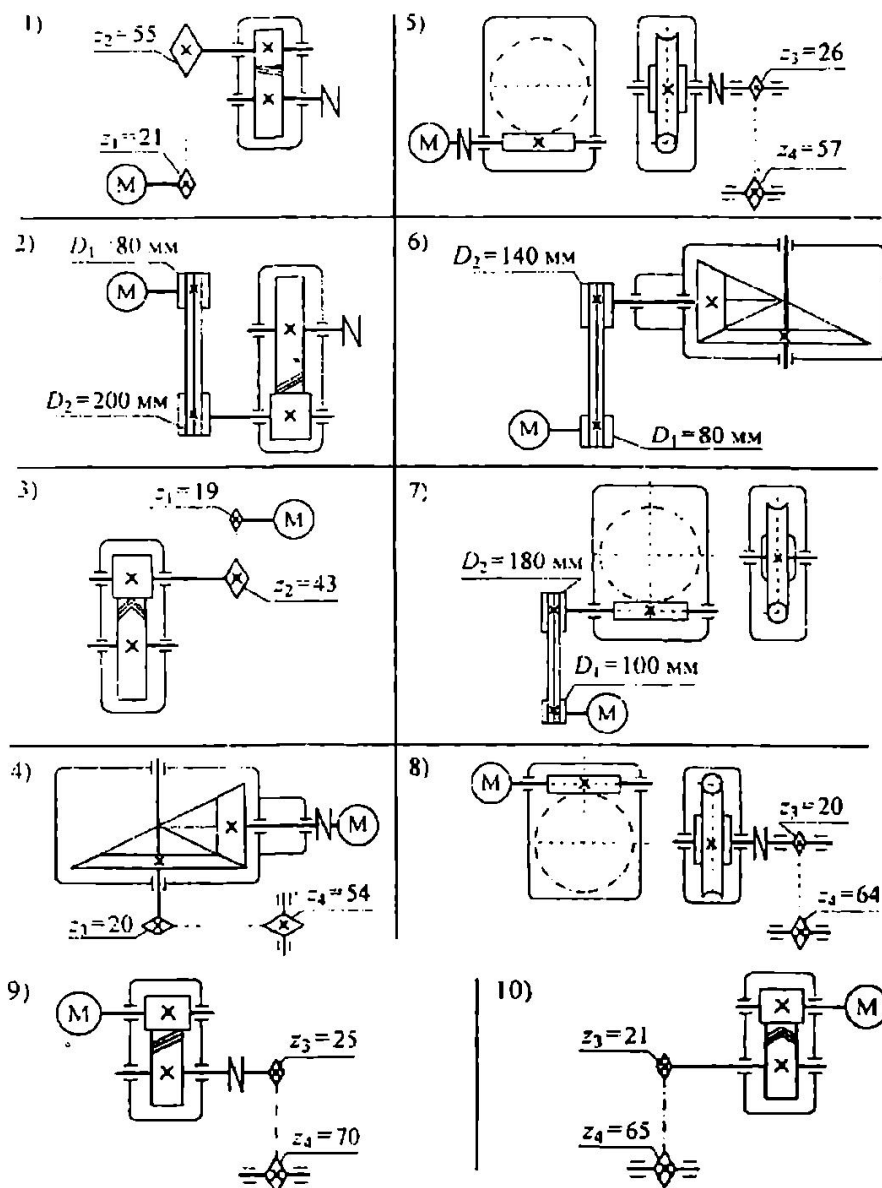


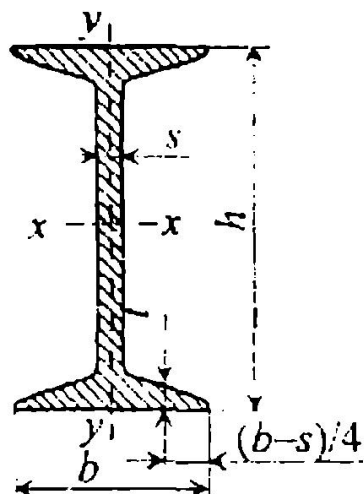
Рисунок 10.

Таблица 6.

Величины	Вариант									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Мощность электродвигателя $P_{дв}$, кВт	9,6	2,2	4,7	8,9	3,2	5,6	6,1	7,6	8,8	5
Частота вращения вала электродвигателя $n_{дв}$, об/мин	1000	1440	955	980	1440	980	1000	1440	950	1000
Передаточное число редуктора u_p	2,5	3,15	4	2	28	2,5	32	22	2,8	4

Приложение 1. Сталь горячекатаная. Балки двутавровые.

Сортамент ГОСТ 8239-72 (извлечение)



Обозначения:

h — высота балки; b - ширина полки;

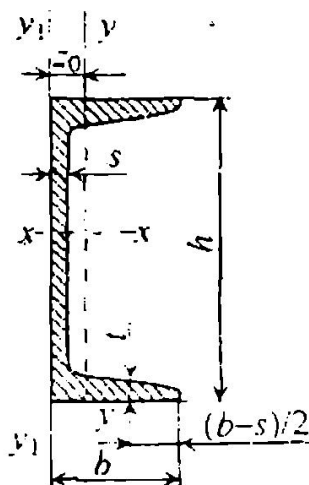
s - толщина стенки; t - средняя толщина полки;

I - момент инерции; W - момент сопротивления

Таблица 7.

№ балки	Размер, мм				Площадь сечения, см ²	Масса 1 м, кг	Справочные величины для осей			
	h	b	s	t			I_x см ⁴	W_x см ³	I_y см ⁴	W_y см ³
10	100	55	4,5	7,2	12,0	9,46	198	39,7	17,9	6,49
12	120	64	4,8	7,3	14,7	11,50	350	58,4	27,9	8,72
14	140	73	4,9	7,5	17,4	13,70	572	81,7	41,9	11,50
16	160	81	5,0	7,8	20,2	15,90	873	109,0	58,6	14,50
18	180	90	5,1	8,1	23,4	18,40	1290	143,0	82,6	18,40
20	200	100	5,2	8,4	26,8	21,00	1840	184,0	115,0	23,10
22	220	110	5,4	8,7	30,6	24,00	2550	232,0	157,0	28,60
24	240	115	5,6	9,5	34,8	27,30	3460	289,0	198,0	34,50
27	270	125	6,0	9,8	40,2	31,50	5010	371,0	260,0	41,50
30	300	135	6,5	10,2	46,5	36,50	7080	472,0	337,0	49,90
33	330	140	7,0	11,2	53,8	42,20	9840	597,0	419,0	59,90
36	360	145	7,5	12,3	61,9	48,60	13380	743,0	516,0	71,10
40	400	155	8,3	13,0	72,6	57,00	19062	953,0	667,0	86,10
45	450	160	9,0	14,2	84,7	66,50	27696	1231,0	808,0	101,00
50	500	170	11,0	15,2	100,0	78,50	39727	1589,0	1043,0	123,00
55	550	180	11,0	16,5	118,0	92,60	55962	2035,0	1356,0	151,00
60	600	190	12,0	17,8	138,0	108,00	76806	2560,0	1725,0	182,00

Приложение 2. Сталь горячекатаная, швеллеры с уклоном внутренних граней полок. Сортамент ГОСТ 8240-72 (извлечение)



Обозначения:

h - высота; b - ширина полки; s - толщина стенки;

t - средняя толщина полки; I - момент инерции;

W - момент сопротивления; z_0 - расстояние от оси y -удо наружной грани стенки.

Таблица 8.

№ балки	Размер, мм				Площадь сечения, см ²	Масса 1м, кг	Справочные величины для осей				z_0 , см
	h	b	s	t			I_x , см ⁴	W_x , см ³	I_y , см ⁴	W_y , см ³	
5	50	32	4,4	7,0	6,16	4 84	22,8	9,1	5,61	2,75	1,16
6,5	65	36	4,4	7,2	7,51	5,90	48,6	15,0	8,70	3,63	1,24
8	80	40	4,5	7,4	8,98	7,05	89,4	22,4	12,80	4,75	1,31
10	100	46	4,5	7,6	10,90	8,59	174,0	34,8	20,40	6,46	1,44
12	120	52	4,8	7,8	13,30	10,40	304,0	50,6	31,20	8,52	1,54
14	140	58	4,9	8,1	15,60	12,30	491,0	70,2	45,40	11,0	1,67
16	160	64	5,0	8,4	18,10	14,20	747,0	93,4	63,30	13,80	1,80
18	180	70	5,1	8,7	20,70	16,30	1090,0	121,0	86,00	17,00	1,94
20	200	76	5,2	9,0	23,40	18,40	1520,0	152,0	113,00	20,50	2,07
22	220	82	5,4	9,5	26,70	21,00	2110,0	192,0	151,00	25,10	2,21
24	240	90	5,6	10,0	30,60	24,00	2900,0	242,0	208,00	31,60	2,42
27	270	95	6,0	10,5	35,20	27,70	4160,0	308,0	262,00	37,30	2,47
30	300	100	6,5	11,0	40,50	31,80	5810,0	387,0	327,00	43,60	2,52
33	330	105	7,0	11,7	46,50	36,50	7980,0	484,0	410,00	51,80	2,59
36	360	110	7,5	12,6	53,40	41,90	10820,0	601,0	513,00	61,70	2,68
40	400	115	8,0	13,5	61,50	48,30	15220,0	761,0	642,00	73,40	2,75

6. Перечень использованных источников

Основные источники:

1. Аркуша А.И.. Техническая механика. Москва. Высшая школа, 2005.
2. Вереина Л. И.. Техническая механика. Учебник. М.: Академия. 2012.
3. Олофинская В.П. Техническая механика. Учебное пособие. М.: ФОРУМ-ИНФРА-М, 2012.
4. Опорин И.С. Основы технической механики. Учебник. М.: Академия, 2012.
5. Сафонова Г.Г. Техническая механика. Учебник. М.: Академия, 2013.

Дополнительные источники:

1. Багреев. Сборник задач по технической механике. Ленинград, 2003.
2. Батурин А.Т.. Сборник задач и примеров по курсу «Детали машин». Москва. Машиностроение, 2005.