

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«РЯЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени В.Ф. УТКИНА»
Рязанский станкостроительный колледж РГРТУ

Методические рекомендации и контрольные задания
по учебной дисциплине

ОП 02 Техническая механика

Специальность 15.02.16 Технология машиностроения

Форма обучения заочная

Рязань 2023

Рассмотрено и рекомендовано к утверждению на заседании цикловой комиссии
общепрофессиональных дисциплин

Протокол №6 от 07.05.2024

Председатель комиссии Агарков В.А.

Разработчик: Лобанов М.Ю., преподаватель РССК «РГРТУ»

ОГЛАВЛЕНИЕ

1	ВВЕДЕНИЕ	4
2	ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ	8
3	СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ	9
4	ЗАДАНИЯ ДЛЯ ЧАСТИ №1 КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ	15
5	МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЧАСТИ №1 КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ	25
6	ЗАДАНИЯ ДЛЯ ЧАСТИ №2 КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ	40
7	МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЧАСТИ №2 КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ	51
8	ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ И ТЕМАТИКА ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ	66
9	ПРИЛОЖЕНИЯ	68
10	ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	74

1 ВВЕДЕНИЕ

1.1 Общие правила

Методические указания разработаны на основе рабочей программы учебной дисциплины ОП.02 «Техническая механика», в соответствии с ФГОС СПО по специальности: 15.02.16 Технология машиностроения.

Данные методические рекомендации предназначены для самостоятельного изучения дисциплины ОП.02 «Техническая механика» и выполнения домашней контрольной работы студентами колледжа.

дисциплина «Техническая механика» состоит из трёх разделов:

- «Основы теоретической механики»;
- «Сопротивление материалов»;
- «Детали механизмов и машин».

Рабочей программой учебной дисциплины предусмотрена промежуточная аттестация: во втором семестре (1 курс) – в форме экзамена.

Студенты заочной формы обучения должны выполнить по технической механике одну контрольную работу, которая содержит 10 задач. Для равномерности выполнения нагрузки контрольная работа разделена на две части:

- часть №1 контрольной работы (первый курс, первый семестр) содержит 5 задач,
- часть №2 контрольной работы (первый курс, второй семестр) содержит 5 задач.

Первую часть рекомендуется выполнить до зимней сессии для возможности её своевременной проверки.

Вторую часть рекомендуется выполнить до весенней сессии для возможности её своевременной проверки.

В случае неправильного выполнения заданий контрольная работа возвращается студенту для исправления и доработки.

Для успешной работы студенту необходимо:

- ознакомиться с требованиями к результатам освоения дисциплины (п.2.2).
- изучить теоретический материал, с параллельным выполнением практических заданий. Последовательность изучения изложена в тематическом плане (п.3.2).
- выполнить задания домашней контрольной работы (п.4 и п.6) по своему варианту (п.1.3), используя в качестве образца методические рекомендации к выполнению контрольной работы (п.5 и п.7).
- после чего, с помощью учебной литературы (п.10), можно отвечать на экзаменационные вопросы и решать практические задания по тематике, указанной в (п.8)

К экзамену допускаются студенты, успешно выполнившие обе части домашней контрольной работы.

1.2 Требования, предъявляемые к домашней контрольной работе

1. Выписать номера заданий своего варианта (п.1.3).
2. Правильно, подробно и аккуратно переписать задание контрольной работы по своему варианту.
Работы, выполненные по другому варианту, возвращаются без проверки.
3. Решения сопровождать пояснениями, указывать единицы величин.
4. Работу выполнять чернилами (пастой) разборчиво (либо печатным текстом).
5. В тетради необходимо оставлять поля и место после решённой задачи для замечаний и заключения преподавателя. Страницы необходимо пронумеровать.
6. В конце работы привести перечень использованной литературы, проставить дату выполнения работы и подпись.
7. Для получения положительной оценки по контрольной работе необходимо выполнить все задания.

Качественная оценка выставляется по следующим критериям:

- Оценка 5 /отлично/ выставляется, если выполнены пункты 1 – 6 вышеизложенных требований; правильно решены все задачи; контрольная работа выполнена своевременно.
- Оценка 4 /хорошо/ выставляется, если выполнены пункты 1 – 6 вышеизложенных требований, но в решениях задач есть мелкие неточности, опiski и контрольная работа выполнена с небольшой задержкой.
- Оценка 3/удовлетворительно/ выставляется, если есть нарушения в выполнении пунктов 1 – 6 вышеизложенных требований; в решениях задач есть грубые ошибки, но исправленные после возврата работы на доработку; контрольная работа выполнена с существенной задержкой.
- Оценка 2 /неудовлетворительно/ выставляется, если не выполнены пункты 1 – 7 вышеизложенных требований.

1.3 Разбивка по вариантам контрольной работы

Вариант задания определяется по шифру (номеру зачётной книжки студента).

Номера вариантов контрольной работы

Предпоследняя цифра шифра	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
1	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
2	20	21	22	23	23	23	26	27	28	29
3	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
4	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
5	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
6	60	01	02	03	04	05	06	07	08	09
7	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
8	20	21	22	23	23	23	26	27	28	29
9	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39

Номера задач, которые студент должен решить в соответствии со своим вариантом, приведены в таблице 1.

Таблица 1

№ варианта	Номера задач контрольной работы									
	Часть №1					Часть №2				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
00	1	11	22	31	41	51	61	77	81	91
01	2	12	21	32	42	52	62	78	82	92
02	3	13	25	33	43	53	63	80	83	93
03	4	14	27	34	44	54	64	79	84	94
04	5	16	23	35	45	56	66	75	86	96
05	6	15	29	36	47	55	65	76	85	95
06	7	18	24	37	46	58	69	72	88	99
07	8	17	30	39	48	57	70	74	87	100
08	9	20	26	38	49	60	67	73	90	97
09	10	19	28	40	50	59	68	71	89	98
10	10	19	28	38	47	59	69	74	82	93
11	1	18	22	39	48	53	62	75	81	92
12	2	20	21	40	49	51	68	72	83	98
13	3	11	25	31	50	57	67	71	84	97
14	4	13	27	32	41	55	65	77	86	95
15	5	12	23	33	42	56	70	73	85	100
16	6	15	29	34	43	60	64	80	88	94
17	7	14	24	35	44	54	66	78	87	96
18	8	17	30	39	45	58	61	76	90	91
19	9	16	26	37	46	52	69	79	89	99

№ варианта	Номера задач контрольной работы									
	Часть №1					Часть №2				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
20	9	16	26	35	43	59	65	76	82	95
21	10	15	28	36	44	57	64	79	81	94
22	1	18	22	37	45	54	67	74	84	97
23	2	17	21	38	46	53	66	75	83	96
24	3	20	25	36	47	56	69	71	86	99
25	4	19	27	40	48	55	68	72	85	98
26	5	12	23	31	49	58	61	77	88	91
27	6	11	29	32	50	51	70	73	87	100
28	7	14	24	33	41	60	63	80	90	93
29	8	13	30	34	42	52	62	78	89	92
30	8	18	30	39	48	52	68	72	82	98
31	9	19	26	40	48	51	66	75	81	96
32	10	12	38	31	50	54	70	73	84	100
33	1	11	22	32	41	53	69	71	83	99
34	2	14	21	33	43	56	62	78	86	92
35	3	13	25	34	42	55	61	77	85	91
36	4	16	27	35	44	58	64	79	88	94
37	5	15	23	36	45	57	63	80	87	93
38	6	17	29	37	46	59	65	76	89	95
39	7	20	24	38	47	52	67	74	82	97
40	6	14	29	31	41	60	66	75	90	96
41	7	11	24	32	42	54	69	71	84	99
42	8	12	30	34	43	53	68	72	83	98
43	9	16	26	35	47	56	61	77	86	91
44	10	15	28	36	44	55	70	73	85	100
45	1	18	22	37	45	58	63	80	88	93
46	2	17	21	38	46	57	62	78	87	92
47	3	20	25	39	49	60	65	76	90	95
48	4	19	27	40	48	59	64	79	89	94
49	5	13	23	32	50	51	67	74	81	97
50	1	15	22	33	44	59	66	75	89	96
51	2	12	21	34	45	60	65	76	90	95
52	3	14	25	33	46	57	68	72	87	98
53	4	13	27	35	47	58	67	74	88	97
54	5	16	23	37	48	55	70	73	85	100
55	6	17	29	36	49	56	79	71	86	99
56	7	18	24	39	50	53	62	78	83	92
57	8	19	30	38	41	54	61	77	84	91
58	9	11	26	31	42	51	64	79	81	94
59	10	20	28	40	43	52	63	80	82	93
60	5	15	23	36	44	54	62	78	84	92

2 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ ОП.02 «ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА»

2.1 Место учебной дисциплины в структуре образовательной программы

Учебная дисциплина ОП.02 «Техническая механика» является обязательной частью общепрофессионального (ОП) цикла образовательной программы в соответствии с ФГОС СПО по специальности 15.02.16 Технология машиностроения.

Учебная дисциплина ОП.02 «Техническая механика» обеспечивает формирование компетенций по всем видам деятельности ФГОС по специальности 15.02.16 Технология машиностроения. Особое значение дисциплина имеет при формировании и развитии следующих 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 правовой и финансовой грамотности в различных жизненных ситуациях.

ОК 09. Пользоваться профессиональной документацией на государственном и иностранном языках.

ПК 4.1. Осуществлять диагностику неисправностей и отказов систем металлорежущего и аддитивного производственного оборудования.

2.2 Цель и планируемые результаты освоения дисциплины

Код ПК/ОК	Знания	Умения
ОК 01 ОК 02 ОК 03 ОК 09 ПК 4.1	<ul style="list-style-type: none">- основные понятия и аксиомы теоретической механики, законы равновесия и перемещения тел;- методики выполнения основных расчетов по теоретической механике, сопротивлению материалов и деталям машин;- методику расчета элементов конструкций на прочность, жесткость и устойчивость при растяжении, сжатии, кручении и изгибе;- методику определения статических и динамических нагрузок на элементы конструкций, кинематические и динамические характеристики машин и механизмов;- основы проектирования деталей и сборочных единиц	<ul style="list-style-type: none">- анализировать конструкции, заменять реальный объект расчетной схемой;- применять при анализе механического состояния понятия и терминологию технической механики;- выделять из системы тел рассматриваемое тело и силы, действующие на него;- определять характер нагружения и напряженное состояние в точке элемента конструкций;- выбирать детали и узлы на основе анализа их свойств для конкретного применения;- проводить несложные расчеты элементов конструкции на прочность и жесткость;- читать кинематические схемы

3 СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Объем учебной дисциплины и виды учебной работы

Вид учебной работы	Объем часов	В форме практической подготовки
Объем учебной дисциплины по плану	166	39
Суммарная учебная нагрузка во взаимодействии с преподавателем	33	
в том числе:		
лекции, уроки	16	-
лабораторные занятия	6	6
практические занятия	4	4
курсовая работа (проект)	-	-
консультации	7	4
Самостоятельная работа	127	22
Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена	6	3
Количество домашних контрольных работ	1	

**3.2. Тематический план и содержание учебной дисциплины
ОП.02 Техническая механика**

Наименование разделов и тем	Содержание учебного материала, лабораторных и практических занятий, самостоятельной работы обучающихся	Объём часов	В форме практической подготовки	Номера задач контрольной работы
Раздел 1. Теоретическая механика.		42		
Статика.				
Тема 1.1 Основные понятия и аксиомы статики.	Содержание учебного материала:	22	6	1÷10
	Содержание теоретической механики. Основные понятия и аксиомы статики. Проекция силы на ось. Момент силы относительно точки. Пара сил, момент пары. Теорема о параллельном переносе силы. Связи. Реакции связей.	2		
	Практические занятия: Определение опорных реакций балок.	2	2	
Тема 1.2 Плоские системы сил.	Самостоятельная работа обучающихся: Изучение теоретического материала: Плоская система сходящихся сил. Силовой многоугольник. Определение равнодействующей. Условия равновесия. Плоская система произвольно расположенных сил. Приведение системы к центру. Равновесие плоской системы произвольно расположенных сил. Определение опорных реакций балок. Связи с трением. Решение задач: Определение проекции силы на ось. Определение момента силы относительно точки. Определение реакций связи. Выполнение контрольной работы.	18	4	
Тема 1.3. Центр тяжести тела.	Содержание учебного материала:	5	2	11÷20
	Сила тяжести. Центр тяжести. Координаты центра тяжести твердого тела. Координаты центра тяжести плоских фигур.	2		
	Самостоятельная работа обучающихся: Решение задач: Определение координат центра тяжести плоских фигур, составленных из стандартных профилей проката. Выполнение контрольной работы.	3	2	
Кинематика. Динамика.				
Тема 1.4. Основные понятия кинематики.	Содержание учебного материала:	15	2	21÷30
	Основные понятия кинематики. Кинематика точки. Способы задания движения точки. Скорость и ускорения точки. Поступательное движение твердого тела. Вращательное движение. Угловая скорость, угловое ускорение. Частота вращения. Скорость и ускорения точек вращающегося тела. Виды вращательного движения.	2		

Тема 1.5. Основные понятия и аксиомы динамики. Работа и мощность.	Самостоятельная работа обучающихся: Изучение теоретического материала: Динамика точки. Основные понятия динамики. Аксиомы динамики. Масса материальной точки. Основное уравнение динамики для материальной точки. Работа постоянной силы. Мощность. Коэффициент полезного действия Работа равнодействующей. Работа силы тяжести. Работа и мощность при вращательном движении. Решение задач: Скорость и ускорения материальной точки. Определение кинематических характеристик твёрдого тела при равнопеременном вращении. Выполнение контрольной работы.	13	2	31÷40
Раздел 2. Сопротивление материалов.		50		
Тема 2.1. Основные понятия.	Содержание учебного материала: -Задачи сопротивления материалов Метод сечений. Внутренние силовые факторы. Виды нагружений. Напряжения.	18	2	
Тема 2.2. Растяжение и сжатие.	-Растяжение-сжатие. Продольная сила. Нормальные напряжения. Эпюры продольных сил и нормальных напряжений.	2		
	Самостоятельная работа обучающихся: Изучение теоретического материала: - Деформации упругие и пластические. Допущения и гипотезы. Классификация элементов конструкций и нагрузок. - Продольные и поперечные деформации. Закон Гука. Испытания материалов на растяжение и сжатие при статической нагрузке. Расчёты на прочность при растяжении и сжатии. Решение задач: Построение эпюр продольных сил и нормальных напряжений. Расчёты на прочность при растяжении-сжатии. Определение перемещений поперечных сечений. Выполнение контрольной работы.	16	2	41÷50
Тема 2.3. Геометрические характеристики поперечных сечений.	Содержание учебного материала: Самостоятельная работа обучающихся: Изучение теоретического материала: Осевые и полярные моменты инерции сечений. Решение задач: Определение осевых моментов инерции составных сечений, имеющих оси симметрии.	2	1	
Тема 2.4. Кручение.	Содержание учебного материала: Кручение. Крутящий момент. Кручение бруса круглого поперечного сечения. Допущения. Напряжение.	7	1	
		2		

	Самостоятельная работа обучающихся: Изучение теоретического материала: Угол закручивания. Расчёты на прочность и жёсткость при кручении. Решение задач: Построение эпюр крутящих моментов и максимальных касательных напряжений. Расчёт бруса круглого поперечного сечения на прочность и жёсткость. Выполнение контрольной работы.	5	1	
Тема 2.5. Изгиб.	Содержание учебного материала: Основные понятия и определения. Классификация видов изгиба. Эпюры поперечных сил и изгибающих моментов. Нормальные напряжения при изгибе. Расчёты на прочность и жёсткость.	17	2	51÷60
	Практические занятия: Расчёты балок на прочность при изгибе с кручением.	2	2	
	Самостоятельная работа обучающихся: Изучение теоретического материала: Понятие о касательных напряжениях при поперечном изгибе. Линейные перемещения поперечных сечений. Решение задач: Построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов при нагружении бруса: сосредоточенными силами, моментами, распределённой нагрузкой. Определение максимальных касательных напряжений.	13		
Тема 2.6. Растяжение, сжатие и изгиб бруса большой жёсткости. Внецентренное растяжение и сжатие.	Содержание учебного материала:	3	2	
	Самостоятельная работа обучающихся: Изучение теоретического материала: Изгиб с растяжением и сжатием. Определение напряжений. Опасные точки. Внецентренное растяжение и сжатие. Расчёты на прочность. Решение задач: Проверочный расчёт на прочность бруса, при внецентренном растяжении (сжатии). Выполнение контрольной работы.	3	2	
Тема 2.7. Гипотезы прочности и их применение.	Содержание учебного материала:	3	1	61÷70
	Самостоятельная работа обучающихся: Изучение теоретического материала: Напряжённое состояние в точке тела. Эквивалентное напряжение. Гипотезы прочности. Расчёт бруса круглого поперечного сечения на изгиб с кручением Решение задач: Проверочный расчёт бруса круглого поперечного сечения на изгиб с кручением. Выполнение контрольной работы.	3	1	
Раздел 3. Детали механизмов и машин.		61		

Тема 3.1. Основные положения. Тема 3.2. Общие сведения о механических передачах.	Содержание учебного материала: - Задачи раздела. Машина, деталь, сборочная единица, механизм. Требования, предъявляемые к деталям и машинам.	7	2	
	- Назначение механических передач и их классификация. Передаточное число. Передаточное отношение. Основные кинематические и силовые соотношения.	2		
	Самостоятельная работа обучающихся: Изучение теоретического материала: - Материалы, применяемые в машиностроении. Решение задач: - Чтение кинематических схем. Расчёт кинематических и динамических характеристик механизмов. Выполнение контрольной работы.	5	2	
Тема 3.3. Механические передачи.	Содержание учебного материала: Зубчатые передачи. Общие сведения, классификация, область применения. Материалы. Краткие сведения об изготовлении. Виды разрушений зубьев зубчатых колёс. Цилиндрические косозубые, прямозубые и шевронные передачи. Диаметральные параметры, силы в передачах.	35	6	71÷80
	Червячные передачи. Общие сведения, классификация. Материалы. Передача с Архимедовым червяком. Геометрические соотношения, передаточное число. Силы в передаче.	2		
	Лабораторные занятия: Определение параметров зубчатых колёс по их замерам. Изучение конструкции зубчатого редуктора. Изучение конструкции червячного редуктора.	6	6	
	Самостоятельная работа обучающихся: Изучение теоретического материала: Основы расчёта на контактную прочность и изгиб цилиндрических зубчатых передач. Конические зубчатые передачи. Общие сведения, основные геометрические соотношения. Силы в передачах. Основы расчёта на контактную прочность и изгиб. Передачи с зацеплением Новикова, общие сведения. Планетарные зубчатые передачи, принцип работы, устройство. Передачи винт-гайка скольжения. Общие сведения, классификация. Виды разрушений, материалы. Основы расчёта передач. Основы расчёта червячной передачи на контактную прочность, изгиб и теплового расчёта. Ремённые передачи. Общие сведения, классификация. Основные геометрические соотношения. Передаточное число. Силы в передачах. Основы расчёта по тяговой способности.	27		

	Цепные передачи. Общие сведения, классификация. Основные геометрические соотношения. Передаточное число. Силы в передачах. Основы проектного и проверочного расчётов.			
Тема 3.4. Валы и оси.	Содержание учебного материала:	5	1	
	Самостоятельная работа обучающихся: Изучение теоретического материала: Валы и оси. Назначение, классификация. Материалы валов и осей. Проектный и проверочный расчёты. Выполнение контрольной работы.	5	1	
Тема 3.5. Подшипники.	Содержание учебного материала:	6	2	81÷90
	Самостоятельная работа обучающихся: Изучение теоретического материала: Подшипники скольжения. Классификация, область применения. Материалы, смазка. Расчёты на износостойкость и теплостойкость Подшипники качения. Общие сведения. Классификация, обозначения. Смазка и уплотнения подшипников. Решение задач: Подбор подшипников качения по динамической грузоподъёмности. Выполнение контрольной работы.	6	2	
Тема 3.6. Муфты.	Содержание учебного материала:	3		
	Самостоятельная работа обучающихся: Изучение теоретического материала: Назначение и классификация. Устройство основных типов муфт. Подбор стандартных муфт.	3		
Тема 3.7. Соединения деталей машин.	Содержание учебного материала:	5	2	91÷100
	Самостоятельная работа обучающихся: Изучение теоретического материала: Шпоночные соединения. Назначение, классификация. Проверочные расчёты ненапряжённых шпоночных соединений. Шлицевые соединения. Классификация, достоинства, недостатки. Проверочные расчёты. Резьбовые соединения. Основные типы резьб. Стандартные крепёжные детали. Расчёт одиночного болта при постоянной нагрузке. Решение задач: Подбор шпонок. Проверочные расчёты ненапряжённых шпоночных соединений. Выполнение контрольной работы.	5	2	
Консультации		7	4	
Промежуточная аттестация обучающихся: экзамен		6	3	
Всего		166	39	

4.ЗАДАНИЯ ДЛЯ ЧАСТИ №1 КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Задачи 1...10.

Определить реакции опор балки, нагруженной, как показано на рисунке 1.
Данные для своего варианта выбрать из таблицы 2.

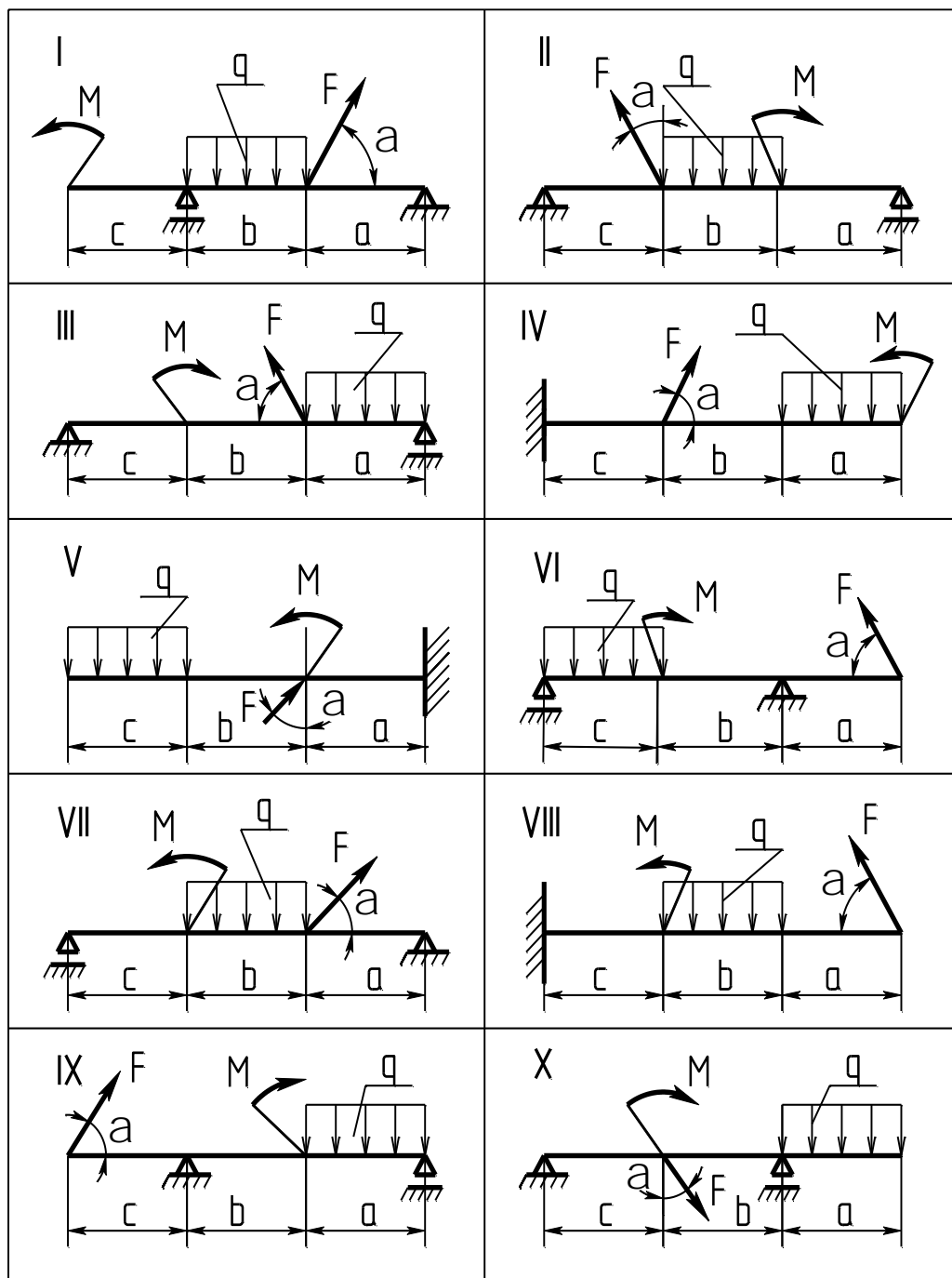


Рис 1

Таблица 2

№ задачи и схемы на рис.1	Вариант	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	α°	F	M	q
		м				кН	кНм	кН/м
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1, I	00	2,2	1,8	1,2	30	10	12	4,0
	11	1,5	2,1	1,5	40	8,0	20	6,0
	22	1,4	1,2	2,2	45	20	15	8,0
	33	1,6	1,4	2,1	50	12	10	10
	45	2,1	1,2	2,1	55	8,0	24	6,0
	50	1,5	2,1	1,5	60	8,0	20	6,0
2, II	01	1,5	1,5	1,5	30	20	6,0	8,0
	12	1,2	2,0	1,8	32	40	8,0	6,0
	23	1,5	1,5	2,4	35	8,0	10	12
	34	0,8	2,2	2,5	40	10	12	10
	46	1,4	1,0	2,6	45	15	14	5,0
	51	1,2	2,0	1,8	50	40	8,0	6,0
3, III	02	2,4	2,4	0,5	70	1,2	6,0	6,0
	13	2,6	2,3	0,8	65	1,8	8,0	5,0
	24	2,4	2,5	1,8	60	12	8,0	5,0
	35	2,2	1,8	1,2	55	14	14	8,0
	47	2,3	2,2	1,0	50	15	18	10
	52	1,8	2,2	1,5	45	2,2	12	12
4, IV	03	2,0	0,5	1,1	60	1,2	15	4,0
	14	1,3	0,5	1,2	50	4	14	6,0
	25	0,5	1,1	2,5	40	6	15	8,0
	36	1,3	1,5	2,5	70	12	14	10
	48	1,2	2,5	1,5	60	2	15	10
	53	2,6	1,4	1,5	40	14	14	4,0
5, V	04	2,3	2,6	0,4	30	5,0	30	5,0
	15	2,4	2,5	0,5	35	6,0	24	10
	26	2,6	2,4	0,6	50	7,0	15	8,0
	37	1,6	15	2,0	30	10	16	6,0
	49	1,6	2,5	1,2	32	9,0	80	8,0
	54	1,7	2,6	2,0	35	4,0	18	10
	60	1,5	2,0	1,5	40	8,0	20	4,0

1	2	3	4	5	6	7	8	9
6, VI	05	0,2	1,2	2,8	40	10	12	5,0
	16	1,3	2,2	1,6	30	12	10	6,0
	27	0,8	1,2	3,0	35	14	15	10
	38	1,6	2,5	1,5	50	20	8,0	8,0
	40	1,2	2,6	1,4	60	18	16	12
	55	1,6	2,5	0,9	35	8,0	6,0	10
7, VII	06	1,4	1,5	2,5	65	12	12	4,0
	17	1,8	1,4	2,5	60	10	13	2,0
	28	1,8	2,5	1,4	62	14	11	3,0
	39	2,0	1,5	1,2	64	20	10	5,0
	41	2,0	1,1	1,5	58	22	12	4,0
	56	1,2	2,5	1,5	55	18	13	3,0
8, VIII	07	0,8	1,5	0,8	25	10	14	2,0
	18	1,8	0,5	0,9	30	18	15	3,0
	29	1,8	0,6	0,5	32	20	16	4,0
	30	0,9	1,5	0,5	35	18	18	5,0
	42	0,8	0,5	1,5	38	16	10	2,0
	57	0,5	0,9	1,5	40	16	14	3,0
9, IX	08	1,6	2,5	1,3	48	12	10	2,0
	19	1,5	1,5	1,4	50	16	18	3,0
	20	1,1	0,8	1,5	52	17	14	4,0
	31	1,8	2,0	1,2	55	10	15	5,0
	43	2,3	1,5	1,5	60	14	16	3,0
	58	0,5	2,5	2,0	65	16	12	2,0
10, X	09	0,6	1,5	3,0	40	10	12	3,0
	10	1,8	2,5	1,5	48	12	18	2,0
	21	1,5	1,5	2,0	27	14	14	5,0
	32	1,1	1,5	2,5	38	16	15	4,0
	44	1,2	2,5	1,5	40	20	16	3,0
	59	1,3	1,4	2,0	21	30	10	3,0

Задачи 11...20.

Для заданного сечения, составленного из двух прокатных профилей (двутавров, швеллеров или равнополочных уголков) и полосы (рис.2), определить координаты центра тяжести. Данные для своего варианта выбрать из таблицы 3.

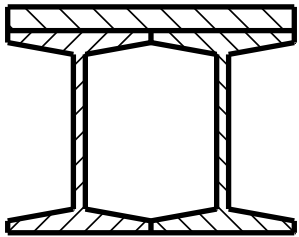
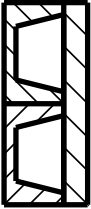
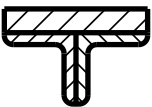
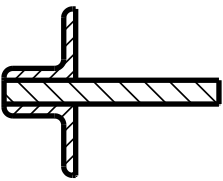
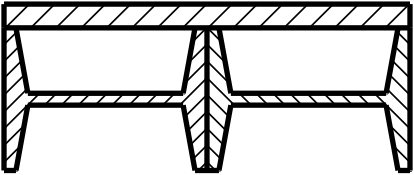
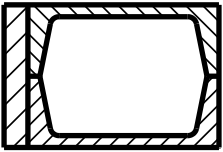
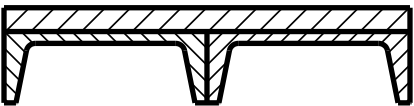
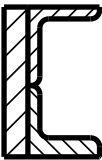
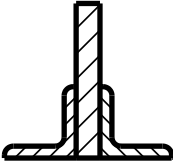
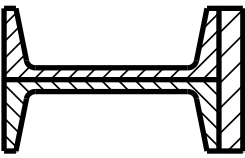
I 	II 
III 	IV 
V 	VI 
VII 	VIII 
IX 	X 

Рис 2

Таблица 3

№ задачи и схемы на рис.2	Вариант	№ профиля	Сечение полосы мм	№ задачи и схемы на рис.2	Вариант	№ профиля	Сечение полосы мм
1	2	3	4	1	2	3	4
11, I	00	10	14x110	12, II	01	10	8x200
	13	18	14x180		15	12	8x240
	27	20	15x200		26	16	10x320
	33	22	15x220		32	20	10x400
	41	24	16x230		42	22	14x440
	58	27	16x250		51	24	14x480
13, III	02	4	4x80	14, IV	03	4	10x100
	14	5	4x100		17	5	10x140
	29	7	10x140		28	7	14x120
	35	8	10x160		34	8	14x160
	49	9	10x180		40	9	14x200
	53	10	14x200		52	10	16x180
15, V	05	10	19x200	16, VI	04	8	9x80
	16	12	10x240		19	10	9x92
	21	14	10x280		20	12	10x104
	37	16	14x320		36	14	10x116
	44	18	14x360		43	16	14x128
	50	20	14x400		54	18	14x140
	60	22	16x440		-	-	-
17, VII	07	10	10x200	18, VIII	06	4	6x80
	18	12	10x240		11	5	6x100
	23	16	10x320		22	7	10x140
	38	20	14x400		30	8	10x160
	46	22	14x440		45	9	10x180
	55	24	14x480		56	10	14x200
19, IX	09	4	9x80	20, X	08	8	6x80
	10	5	9x100		12	10	8x92
	25	7	10x150		24	12	10x104
	31	8	10x160		39	14	12x116
	48	9	14x180		47	16	14x128
	57	10	14x200		59	18	12x140

Задачи 21...30.**Задачи 21, 22.**

Материальная точка движется прямолинейно.

Уравнение движения: $s = f(t)$, где s – в метрах, t – в секундах.

Определить скорость и ускорение точки через t секунд после начала движения.

Данные для своего варианта выбрать из таблицы 4.

Задачи 23, 24.

Материальная точка движется по окружности радиуса R 50 метров.

Уравнение движения: $s = f(t)$, где s – в метрах, t – в секундах.

Определить скорость и полное ускорение точки через t секунд после начала движения.

Данные для своего варианта выбрать из таблицы 4.

Задачи 25, 26.

Тело вращается вокруг неподвижной оси.

Уравнение движения: $\varphi = f(t)$, где φ – в радианах, t – в секундах.

Определить угловую скорость и угловое ускорение тела, скорость и полное ускорение точки, находящейся от оси вращения на расстоянии $R = 0.5$ метра.

Данные для своего варианта выбрать из таблицы 4.

Таблица 4

№ задачи	Вариант	Уравнение движения	Время (с)	№ задачи	Вариант	Уравнение движения	Время (с)
1	2	3	4	1	2	3	4
21	01	$S = 10 \sin \frac{\pi}{12} t$	2	22	00	$S = 12 \cos \frac{\pi}{12} t$	2
	12		3		11		3
	23		4		22	$S = 20t + t^3$	4
	34	$S = 10 + 6t + 2t^3$	8		33		6
	46		2		45		1
	51		3		50		2
23	04	$S = 20t - t^2$	4	24	06	$S = 2 + t^2$	2
	15		5		17		3
	26		3		28		4
	37		1		39		2
	49	$S = 4t + t^3$	2		41	$S = 6 - 4t + t^2$	2
	54		4		56		3
	60		5		-		-
25	02	$\varphi = 2t^3$	1	26	08	$\varphi = 2 + t + t^3$	1
	13		2		19		2
	24		3		20		3
	35		2		31		4
	47	$\varphi = 4t + 2t^2$	3		43	$\varphi = t^3$	2
	52		4		58		3

Задачи 27, 28.

Материальная точка движется по окружности радиуса R 40 метров.

В течение t секунд её скорость изменилась с v_0 до v . Считая движение равнопеременным, определить полное ускорение точки в конце указанного промежутка времени и пройденный путь.

Данные для своего варианта выбрать из таблицы 5.

Задачи 29, 30.

Маховик радиуса R 0,5 метра вращается равнопеременно. В течение t секунд частота вращения маховика изменилась с n_0 до n . Определить угловое ускорение маховика, ускорение точек обода маховика в конце указанного промежутка времени и число оборотов маховика за t секунд. Данные для своего варианта выбрать из таблицы 6.

Таблица 5

№ задачи	Вариант	v_0 (м/с)	v (м/с)	t (с)	№ задачи	Вариант	v_0 (м/с)	v (м/с)	t (с)
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
27	03	50	10	5	28	09	0	15	3
	14	10	40	3		10	48	0	6
	25	5	25	4		21	4	28	3
	36	15	5	5		32	40	10	10
	48	17	52	7		44	25	37	4
	53	13	49	6		59	37	8	6

Таблица 6

№ задачи	Вариант	n_0 (об/мин)	n (об/мин)	t (с)	№ задачи	Вариант	n_0 (об/мин)	n (об/мин)	t (с)
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
29	05	0	200	10	30	07	0	300	15
	16	200	480	14		18	350	50	15
	27	1500	100	50		29	100	600	20
	38	480	1000	25		30	600	750	8
	40	1000	1500	20		42	500	1000	10
	55	750	50	35		57	1000	400	20

Задачи 31...40.**Задача 31.**

Груз массой 1200 кг поднимается с помощью троса, перекинутого через блок, с ускорением 2 м/с^2 . Определить натяжение троса, пренебрегая его массой.

Задача 32.

Шарик массой 0,3 кг привязан к нити длиной 1,2 метра и вращается вместе с ней в вертикальной плоскости. Определить натяжение нити в положении, указанном на рисунке 3. Скорость шарика равна 5 м/с.

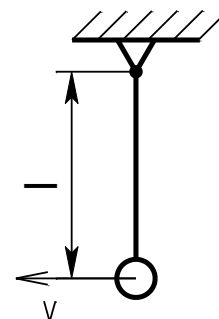


Рис.3

Задача 33.

Мощность на ведомом валу зубчатой передачи $P_2 = 2,4 \text{ кВт}$, делительный диаметр зубчатого колеса $d_2 = 84 \text{ мм}$, окружная сила в зацеплении $F_{t2} = 1,4 \text{ кН}$.

Определить угловую скорость ω_2 ведомого вала.

Задача 34.

Диаметр детали, обрабатываемой на токарном станке, равен 200 мм. Частота вращения шпинделя (и, следовательно, обрабатываемой детали) равна 300 об/мин. Окружная сила резания равна 600Н. Определить затрачиваемую электродвигателем мощность, если коэффициент полезного действия передач от электродвигателя к шпинделю равен 0,8 .

Задача 35.

Тело массой 100кг движется равномерно прямолинейно вверх по наклонной шероховатой поверхности под действием силы F (рис.4). Коэффициент трения скольжения $f = 0,3$. Определить работу силы F на пути 10 метров.

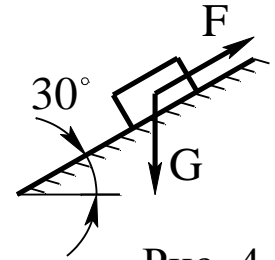


Рис. 4

Задача 36.

Тело массой 140 кг движется прямолинейно по шероховатой горизонтальной поверхности под действием силы 280 Н (рис.5). Коэффициент трения скольжения $f = 0,2$. Сколько времени должна действовать сила, чтобы скорость тела изменилась с 5 м/с до 25 м/с?

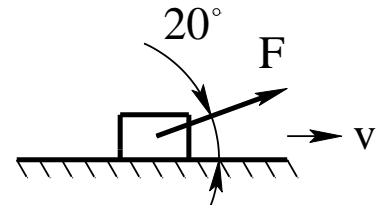


Рис.5

Задача 37.

Под действием силы тяжести тело скользит по гладкой наклонной поверхности (рис.6) из состояния покоя. Определить скорость тела через 6 секунд после начала движения.

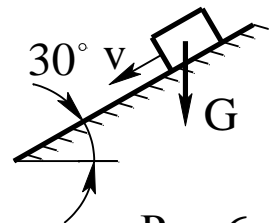


Рис.6

Задача 38.

Шарик подвешен на нити длиной 1,2 метра (рис.7). Вследствие толчка шарик получил горизонтальную скорость. Определить эту скорость, если при повороте нити на угол $\varphi = 90^\circ$ скорость шарика равна 10 м/с.

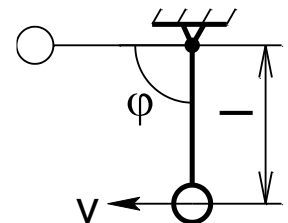


Рис.7

Задача 39.

Определить, какую силу надо приложить к телу массой 400 кг, движущемуся прямолинейно по гладкой горизонтальной поверхности, чтобы на пути 200 метров его скорость увеличилась с 15 м/с до 25 м/с (рис.8).

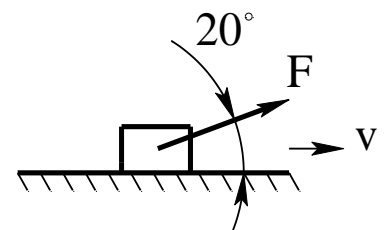


Рис.8

Задача 40.

Под действием силы тяжести тело скользит по гладкой наклонной плоскости из состояния покоя (рис.9). Путь, пройденный телом, равен 2,5 метрам. Определить скорость тела в конце пути.

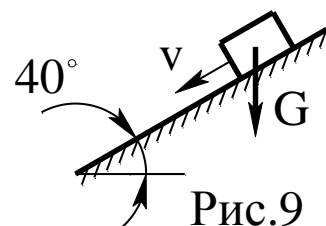


Рис.9

Задачи 41...50.

Двухступенчатый стальной брус, длины ступеней которого указаны на рисунке 10 (схемы I...X), 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.

Данные для своего варианта выбрать из таблицы 7.

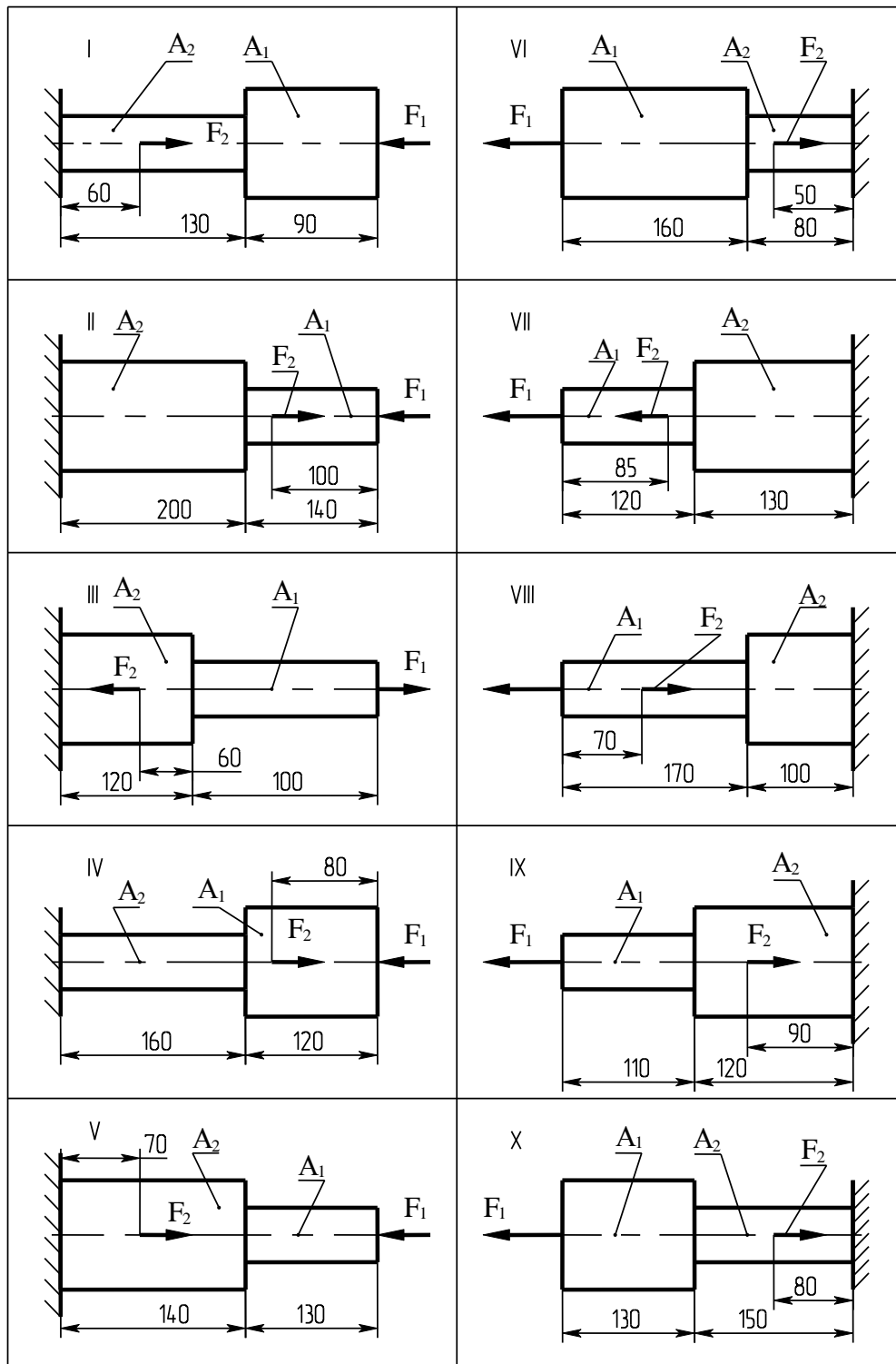


Рис.10

Таблица 7.

№ задачи и схемы на рис. 10	Вариант	F ₁ (кН)	F ₂ (кН)	A ₁ (мм ²)	A ₂ (мм ²)	№ задачи и схемы на рис. 10	Вариант	F ₁ (кН)	F ₂ (кН)	A ₁ (мм ²)	A ₂ (мм ²)
1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
41, I	00	10	20	120	80	42, II	01	3,3	8,0	40	50
	14	12	10	120	80		15	4,0	9,7	50	60
	28	12	20	70	90		29	4,8	10	40	80
	33	21	40	240	220		35	5,6	9,5	50	100
	40	16	13	260	1602		41	7,2	15	60	150
	57	18	23	180	140		58	5,6	8,2	70	200
43, III	02	15	30	160	210	44, IV	03	10	29	200	180
	16	14	18	210	230		17	8,0	18	300	200
	20	20	32	220	250		21	76	20	320	280
	34	30	36	160	240		36	17	43	320	300
	42	26	15	130	200		44	9,9	22	350	320
	59	30	40	200	220		50	17	51	400	350
	-	-	-	-	-		60	23	40	420	380
45, V	04	3,5	12	180	250	46, VI	06	6,6	3	80	40
	18	27	27	200	280		19	3,8	6	90	50
	22	18	38	180	300		23	6,6	3	80	40
	37	1,8	20	150	260		38	9,3	16	120	80
	45	15	35	260	320		46	8,6	16	150	60
	51	12	28	160	290		52	8,9	15	140	70
47, VII	05	16	8,0	40	140	48, VIII	07	14	18	240	280
	10	8,0	30	80	150		11	16	12	110	300
	24	19	10	60	90		25	10	16	220	300
	39	8,0	8,0	140	200		30	6,0	17	300	320
	43	5,0	20	100	150		48	11	16	320	350
	53	8,0	15	100	180		54	12	27	350	400
49, IX	08	22	30	210	270	50, X	09	12	30	250	210
	12	10	28	240	280		13	14	40	220	200
	26	12	34	180	220		27	15	30	240	150
	31	11	24	160	200		32	25	37	280	100
	47	22	7,0	240	300		49	40	12	260	160
	55	18	35	260	300		56	30	13	280	150

5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЧАСТИ №1 КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ.

СТАТИКА

Основные понятия.

Статика изучает равновесие тел под действием приложенных сил. Под равновесием понимают состояние покоя или равномерного прямолинейного движения. Систему сил, под действием которой тело находится в равновесии, называют уравновешенной. Деление материальных тел на абсолютно твёрдые тела и материальные точки является условным. В зависимости от конкретных условий, одно и то же тело, можно рассматривать как материальную точку в одних задачах и как абсолютно твёрдое тело в других.

Изучая связи и реакции связей, следует обратить внимание на особенности активных сил и реакций связей. Модуль и направление активной силы непосредственно не зависят от других действующих на тело сил. Величина реакции связи всегда зависит от величины и направления активных сил. Точка приложения реакции, как правило, известна. Направление же реакций известно лишь для некоторых видов связей. Например, для идеальной поверхности.

В общем случае реакция связи направлена в сторону, противоположную той, куда связь не даёт перемещаться телу. Если активную силу считать действием, то реакция является противодействием.

По третьему закону Ньютона «действие равно противодействию...», следовательно, если требуется определить, например, давление на опору, то можно определить равную по модулю, но противоположную по направлению реакцию опоры.

Плоская система сходящихся сил

Для определения равнодействующей и решения задач на равновесие можно пользоваться геометрическим и аналитическим методом.

Геометрическим методом удобнее пользоваться, когда общее число активных сил и реакций связей равно трём.

Аналитическим методом можно пользоваться при любом числе сил.

Преимущества аналитического метода особенно видны в задачах при действии на тело более трёх сходящихся сил.

Проекция силы на ось равна произведению модуля силы на косинус угла между силой и осью. Например, на рисунке 11

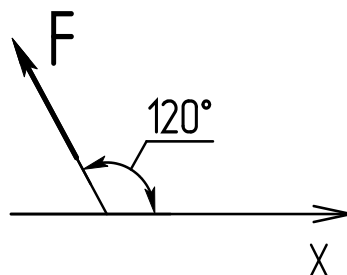


Рис.11

$$F_x = F \cdot \cos 120^\circ = F \cdot \cos (180^\circ - 60^\circ) = -F \cdot \cos 60^\circ.$$

Для определения проекции силы на ось, наряду с основным правилом, можно пользоваться следующими приёмами:

1. Определить знак проекции, затем модуль проекции. Проекция считается положительной, если направление перемещения от начала проекции (точка а) к её концу (точка b) совпадает с положительным направлением оси (рис.12).

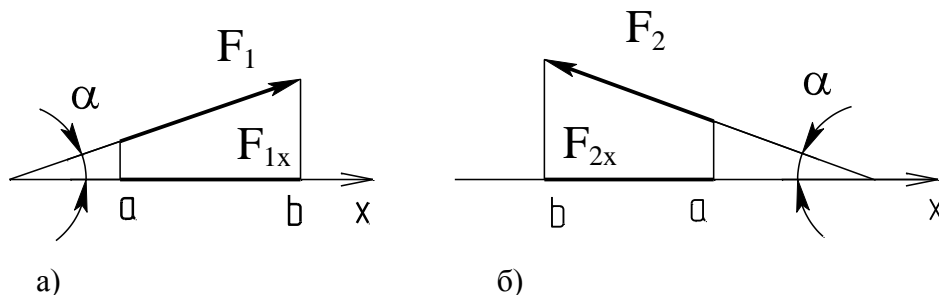


Рис.12

На рисунке 12а проекция имеет знак плюс, а на рисунке 12б – минус. Модуль проекции равен произведению силы на косинус острого угла между линией действия силы и прямой, совпадающей с осью.

$$F_{1x} = F_1 \cdot \cos\alpha; \quad F_{2x} = - F_2 \cdot \cos\alpha;$$

2. Разложить силу на две взаимно перпендикулярные составляющие, одна из которых перпендикулярна к оси (рис 13). По теореме о проекции суммы $F_x = F_{1x} + F_{2x}$; $F_{1x} = - F \cdot \cos\alpha$, т. к. сила F_1 имеет направление, противоположное положительному направлению оси. $F_{2x} = 0$, т.к. сила F_2 перпендикулярна к оси.

Следовательно, $F_x = - F \cdot \cos\alpha$.

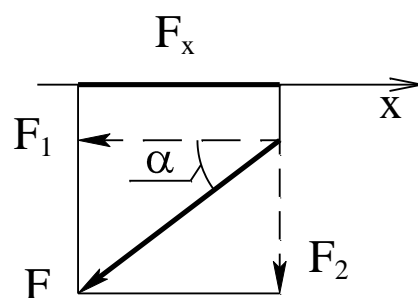


Рис.13

Плоская система произвольно расположенных сил.

Момент силы относительно точки равен произведению модуля силы на плечо. Плечом (h) называют кратчайшее расстояние от точки (A) до линии действия силы (F). (Рисунок 14).

Момент силы относительно точки считается положительным, если сила стремится повернуть тело относительно точки против хода часовой стрелки и отрицательным, если по ходу часовой стрелки. $m_A(F) = - F \cdot h$; $m_A(F_1) = F_1 \cdot h_1$; $m_A(F_2) = 0$, так как плечо равно нулю.

Таким образом, момент силы относительно точки равен нулю, если точка лежит на линии действия силы.

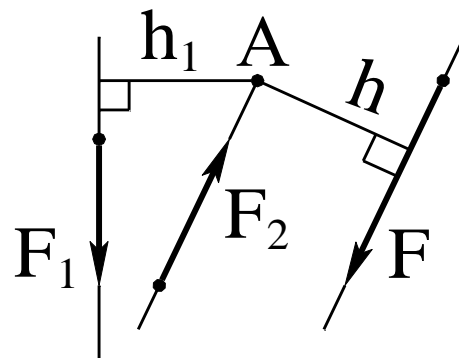


Рис. 14

В некоторых случаях при определении момента силы относительно точки целесообразно применять теорему о моменте равнодействующей. Например, при определении момента силы F относительно точки A (рис.15) можно разложить силу F на две взаимно перпендикулярные составляющие силы, одна из которых перпендикулярна к отрезку AB .

Момент силы F относительно точки A равен сумме моментов сил F_1 и F_2 относительно точки A .

$m_A(F_1) = -F_1 \cdot AB = -F \cdot \cos 30^\circ \cdot AB$; $m_A(F_2) = 0$, т.к. точка A лежит на линии действия силы F_2 . Таким образом, $m_A(F) = -F \cdot \cos 30^\circ \cdot AB$.

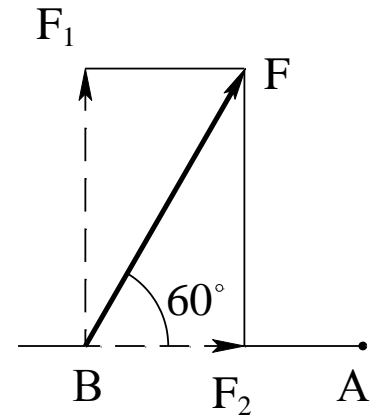


Рис.15

Существуют три формы уравнений равновесия. Основная форма:

$$1. \sum F_{nx} = 0; \quad 2. \sum F_{ny} = 0; \quad 3. \sum m_A(F_n) = 0.$$

Если кроме системы сил в той же плоскости действуют пары сил (моменты), то в уравнения проекций (1 и 2 уравнения), пары сил не войдут, т.к. проекции сил пары на любую ось равны по модулю и противоположны по знаку, и их сумма равна нулю.

В уравнении моментов (3 уравнение) к моментам сил прибавляются моменты пар.

Первую задачу (*задачи 1... 10*) следует решать после изучения тем: **1.1;1.2.**

Задачи на равновесие твёрдого тела, к которому приложена плоская система произвольно расположенных сил, нужно решать в такой последовательности:

1. Выбрать тело, равновесие которого будет рассмотрено. Надо рассматривать равновесие того тела, к которому приложены заданные и искомые силы.

2. Освободить выбранное тело от связей, заменив действие связей реакциями.

3. Составить уравнения равновесия.

Для получения более простых уравнений следует:

- составляя уравнения проекций, проводить координатную ось перпендикулярно какой-нибудь неизвестной силе;

- составляя уравнение моментов, брать центр моментов в точке, где пересекаются линии действия большего числа неизвестных сил.

4. Решив уравнения равновесия, определить искомые величины.

5. Проверить правильность решения задачи.

Пример 1.

Определить реакции опор балки, нагруженной, как показано на рисунке 16.

$F = 10 \text{ кН}$, $M = 4 \text{ кН} \cdot \text{м}$, $q = 8 \text{ кН/м}$, $a = 1,4 \text{ м}$; $b = 2 \text{ м}$; $c = 1,6 \text{ м}$.

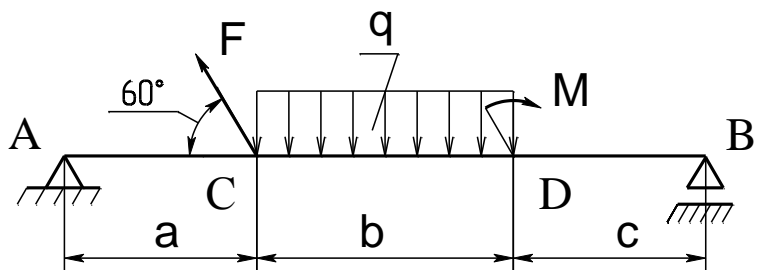


Рис. 16

Решение

1. Рассмотрим равновесие балки АВ. Равномерно распределённую нагрузку заменяем сосредоточенной силой, равной произведению интенсивности «q» на длину участка CD ($q \cdot CD$) и приложенной в середине CD. (рис.17).

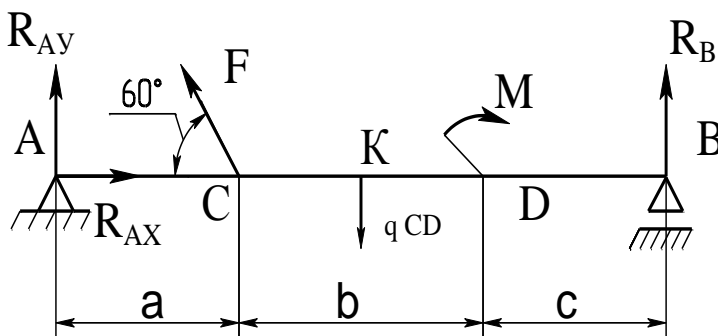


Рис.17

2. Освободим балку от связей, заменив действие связей реакциями.

Реакцию опоры А раскладываем на две взаимно перпендикулярные составляющие R_{Ax} и R_{Ay} . Реакция R_B опоры В направлена перпендикулярно к опорной поверхности.

Изобразим балку АВ как свободное тело с действующими на неё активными силами и реакциями связей.

3. Составим уравнения равновесия, выбрав основную форму условий равновесия:

1. $\sum F_{nx} = 0$;
2. $\sum F_{ny} = 0$;
3. $\sum m_A(F_n) = 0$;

Ось «х» направим по оси балки. За центр моментов принимаем точку «А». При определении момента силы F применяем теорему Вариньона о моменте равнодействующей.

$$1. R_{Ax} - F \cdot \cos 60^\circ = 0$$

$$2. R_{Ay} + F \cdot \cos 30^\circ - q \cdot CD + R_B = 0$$

$$3. F \cdot \cos 30^\circ \cdot a - q \cdot CD \cdot \left(a + \frac{b}{2}\right) - M + R_B \cdot (a + b + c) = 0$$

$$R_B = \frac{-F \cos 30^\circ \cdot a + q \cdot CD \left(a + \frac{b}{2}\right) + M}{a + b + c}$$

Из 3-го уравнения:

$$R_B = \frac{-10 \cdot 0,86 \cdot 1,4 + 8 \cdot 2 \left(1,4 + \frac{2}{2}\right) + 4}{1,4 + 2 + 1,6} = 6,06 \text{ кН}$$

Из 2-го уравнения: $R_{Ay} = -F \cdot \cos 30^\circ + q \cdot CD - R_B$

$$R_{Ay} = -10 \cdot 0,866 + 8 \cdot 2 - 6,06 = 1,28 \text{ кН}$$

Из 1-го уравнения: $R_{Ax} = F \cdot \cos 60^\circ$

$$R_{Ax} = 10 \cdot 0,5 = 5 \text{ кН}$$

Ответ: $R_{AX} = 5 \text{ кГц}$ $R_{AY} = 1.28 \text{ кГц}$ $R_B = 6.06 \text{ кГц}$

4. Проверяем правильность решения задачи. Составим уравнение моментов относительно точки С (или К, или D). За центр моментов не следует брать точки А и В, т.к. в уравнение моментов не войдут реакции связей.

$$\sum m_C(F_n)=0. \quad -R_{AY} \cdot a - q \cdot CD \cdot \frac{b}{2} - M + R_B(b+c)=0$$

$$-1,28 \cdot 1,4 - 8 \cdot 2 \cdot \frac{2}{2} - 4 + 6,06 \cdot (2 + 1,6) = 0$$

$$0 = 0.$$

Задача решена правильно.

Примечания:

1. Реакциями неподвижной заземляющей опоры (жёсткой заделки) являются две взаимно перпендикулярные силы R_{AX} и R_{AY} и момент M_A , как показано на рисунке 18.

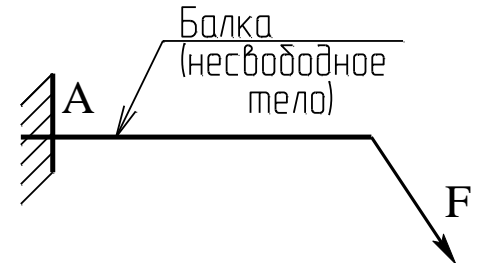


Рис. 18а

2. Если реакция получится отрицательной, значит её фактическое направление противоположно указанному на рисунке. Никаких изменений в решение задачи вносить не нужно.

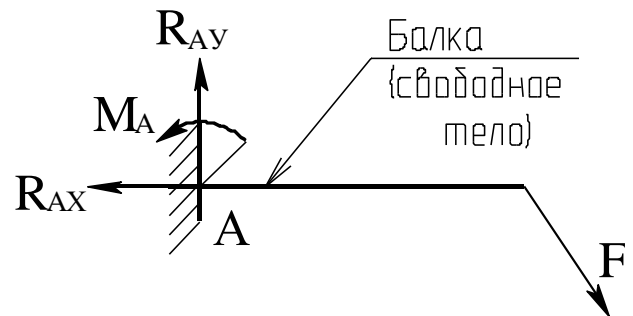


Рис. 18 б

Вторую задачу (задачи 11... 20) следует решать после изучения темы: 1.3.

Задачи на определение координат центра тяжести плоских фигур нужно решать в такой последовательности:

1. Плоскую фигуру разбить на составные части, положение центра тяжести которых известно или легко определяется
2. Провести оси координат. Если составная фигура имеет ось симметрии, то одну из координатных осей совместить с осью симметрии.
3. Определить координаты центров тяжести и площади составных частей.
4. Определить координаты центра тяжести плоской фигуры.

Пример 2.

Для заданного сечения (рисунок 19), составленного из двух прокатных профилей и полосы, определить координаты центра тяжести.

Решение

1. Разбиваем плоскую фигуру на три составные части.

2. Проводим оси координат, совмещая ось «у» с вертикальной осью симметрии. Координата « x_c » = 0, т.к. центр тяжести лежит на оси симметрии.

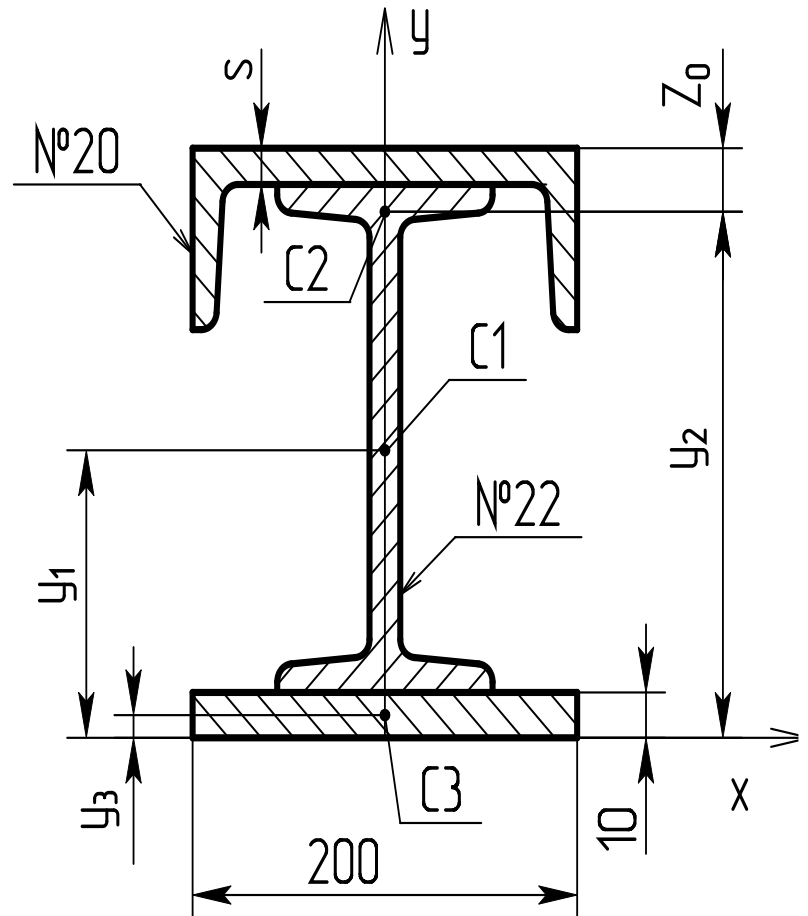


Рис.19

3. Определяем координаты «у» и площади каждой части.

$$A_1 = 30,6 \text{ см}^2 = 3060 \text{ мм}^2 \quad y_1 = 10 + \frac{h_2}{2} = 10 + \frac{220}{2} = 120 \text{ мм}$$

$$A_2 = 23,4 \text{ см}^2 = 2340 \text{ мм}^2 \quad y_2 = 10 + h_2 + S - Z_0 = 10 + 220 + 5,2 - 20,7 = 214,5 \text{ мм}$$

где, S - толщина стенки швеллера;

Z_0 - размер, определяющий положение центра тяжести швеллера.

Данные для стандартных прокатных профилей определены по справочным таблицам (приложения П1, П2 и П3).

$$A_3 = 200 \cdot 10 = 2000 \text{ мм}^2; \quad y_3 = \frac{10}{2} = 5 \text{ мм},$$

$$y_c = \frac{A_1 \cdot y_1 + A_2 \cdot y_2 + A_3 \cdot y_3}{A_1 + A_2 + A_3} = \frac{3060 \cdot 120 + 2340 \cdot 214,5 + 2000 \cdot 5}{3060 + 2340 + 2000} = 118,8 \text{ мм}$$

Ответ: $x_c = 0$; $y_c = 118,8 \text{ мм}$.

КИНЕМАТИКА

Кинематика точки. Вращательное движение твёрдого тела

Третью задачу (*задачи 21... 30*) следует решать после изучения темы: **1.4.**

В задачах 21...24 рассматривается движение точки при естественном способе задания движения.

В задачах 25, 26 - вращательное движение тела вокруг неподвижной оси при заданном уравнении движения.

В задачах 27, 28 рассматривается равнопеременное движение точки.

В задачах 29, 30 - равнопеременное вращение твёрдого тела.

Последовательность решения таких задач видна из приведенных примеров.

Пример 3.

Материальная точка движется по окружности радиуса $R = 0,5$ м.

Уравнение движения $s = \sin \frac{\pi}{9} t$, где s - в метрах, t - в секундах.

Определить скорость и ускорение точки через 3 секунды после начала движения.

Решение:

1. Определяем скорость точки как первую производную расстояния:

$$v = s' = \left(\sin \frac{\pi}{9} t \right)' = \frac{\pi}{9} \cos \frac{\pi}{9} t; \quad \text{при } t = 3 \text{ с} \quad v = \frac{\pi}{9} \cos \frac{\pi}{9} \cdot 3 = 0,175 \text{ м/с}$$

2. Определяем касательное ускорение точки как первую производную скорости:

$$a_{\tau} = \left(\frac{\pi}{9} \cos \frac{\pi}{9} t \right)' = -\frac{\pi^2}{9^2} \sin \frac{\pi}{9} t,$$

$$\text{При } t = 3 \text{ с} \quad a_{\tau} = -\frac{\pi^2}{9^2} \sin \frac{\pi}{9} \cdot 3 = -0,105 \text{ м/с}^2.$$

3. Определим нормальное ускорение: $a_n = \frac{v^2}{R}$; $a_n = \frac{0,175^2}{0,5} = 0,066 \text{ м/с}^2$

4. Определяем полное ускорение точки:

$$a = \sqrt{a_{\tau}^2 + a_n^2}; \quad a = \sqrt{(-0,105)^2 + 0,066^2} = 0,124 \text{ м/с}^2$$

Ответ: $v = 0,175 \text{ м/с}$; $a = 0,124 \text{ м/с}^2$

Примечание:

При прямолинейном движении точки нормальное ускорение $a_n = 0$, следовательно

$$a = a_{\tau}$$

Пример 4.

Тело, вращается вокруг неподвижной оси.

Уравнение движения: $\varphi = 3t + t^3$, где φ - в радианах, t - в секундах.

Определить угловую скорость и угловое ускорение тела, а также полное ускорение точки, находящейся от оси вращения на расстоянии $R = 0,1$ м через 2 секунды после начала движения.

Решение:

1. Определяем угловую скорость как первую производную угла поворота:

$$\omega = \varphi' = (3t + t^3)' = 3 + 3t^2, \quad \text{при } t = 2 \text{ с} \quad \omega = 3 + 3 \cdot 2^2 = 15 \text{ рад/с.}$$

2. Определяем угловое ускорение как первую производную угловой скорости:

$$\varepsilon = \omega' = (3 + 3t^2)' = 6t, \quad \text{при } t = 2 \text{ с} \quad \varepsilon = 6 \cdot 2 = 12 \text{ рад/с}^2.$$

3. Определяем касательное ускорение точки:

$$a_\tau = R \cdot \varepsilon, \quad a_\tau = 0,1 \cdot 12 = 1,2 \text{ м/с}^2.$$

4. Определяем нормальное ускорение точки:

$$a_n = R \cdot \omega^2, \quad a_n = 0,1 \cdot 15^2 = 22,5 \text{ м/с}^2$$

5. Определяем полное ускорение точки:

$$a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2}. \quad a = \sqrt{1,2^2 + 22,5^2} = 22,52 \text{ м/с}^2$$

Ответ: $\omega = 15 \text{ рад/с}$; $\varepsilon = 12 \text{ рад/с}^2$; $a = 22,52 \text{ м/с}^2$.

Пример 5.

Материальная точка движется по окружности радиуса $R = 50$ метров.

В течение 8 секунд ее скорость изменилась с 26 м/с до 10 м/с.

Считая движение равнопеременным, определить полное ускорение точки в конце восьмой секунды и пройденный путь.

Решение:

$$1. \quad \text{Определяем касательное ускорение: } a_\tau = \frac{v - v_0}{t}; \quad a_\tau = \frac{10 - 26}{8} = -2 \text{ м/с}^2.$$

$$2. \quad \text{Определяем нормальное ускорение: } a_n = \frac{V^2}{R}; \quad a_n = \frac{10^2}{50} = 2 \text{ м/с}^2.$$

$$3. \quad \text{Определяем полное ускорение: } a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2}; \quad a = \sqrt{(-2)^2 + 2^2} = 2,82 \text{ м/с}^2$$

$$4. \quad \text{Определяем пройденный путь: } S = v_0 t + \frac{a_\tau t^2}{2}$$

$$S = 26 \cdot 8 + \frac{-2 \cdot 8^2}{2} = 144 \text{ м}$$

Ответ: $a = 2,82 \text{ м/с}^2$; $S = 144 \text{ м}$.

Пример 6.

Маховик радиуса $R = 0,3$ м вращается равнопеременно.

В течение 5 секунд частота вращения изменилась со 150 об/мин, до 300 об/мин.

Определить угловое ускорение маховика, ускорение точек обода маховика в конце указанного промежутка времени и число оборотов маховика за это время.

Решение:

1. Предварительно определяем угловые скорости маховика:

$$\omega_0 = \frac{\pi n_0}{30}; \quad \omega_0 = \frac{3,14 \cdot 150}{30} = 15,7 \text{ рад/с.}$$

$$\omega = \frac{\pi n}{30}; \quad \omega = \frac{3,14 \cdot 300}{30} = 31,4 \text{ рад/с;}$$

2. Определяем угловое ускорение:

$$\varepsilon = \frac{\omega - \omega_0}{t}; \quad \varepsilon = \frac{31,4 - 15,7}{5} = 3,14 \text{ рад/с}^2$$

3. Определяем касательное ускорение точек обода:

$$a_{\tau} = R \cdot \varepsilon, \quad a_{\tau} = 0,3 \cdot 3,14 = 0,942 \text{ м/с}^2$$

4. Определяем нормальное ускорение точек обода:

$$a_n = R \cdot \omega^2 \quad a_n = 0,3 \cdot 31,4^2 = 294 \text{ м/с}^2$$

5. Определяем полное ускорение точек обода:

$$a = \sqrt{a_{\tau}^2 + a_n^2}; \quad a = \sqrt{0,942^2 + 294^2} = 294,2 \text{ м/с}^2$$

6. Определяем число оборотов маховика за 5 секунд:

$$\varphi_{об} = \frac{\varphi}{2\pi} \quad \text{где } \varphi - \text{угол поворота маховика - в радианах.}$$

$$\varphi = \omega_0 \cdot t + \frac{\varepsilon \cdot t^2}{2}; \quad \varphi = 15,7 \cdot 5 + \frac{3,14 \cdot 5^2}{2} = 117,75 \text{ рад}$$

$$\varphi_{об} = \frac{117,75}{2 \cdot 3,14} = 18,75 \text{ об.}$$

Ответ: $\varepsilon = 3,14 \text{ рад/с}^2$; $a = 294,2 \text{ м/с}^2$; $\varphi_{об} = 18,75 \text{ об.}$

ДИНАМИКА

Четвёртую задачу (задачи 31...40) следует решать после изучения темы: 1.5.

При решении задач 31, 32 можно использовать метод кинестатики.

Рекомендуемая последовательность решения задач:

1. Выбрать точку, движение которой будем рассматривать.
2. Освободить выбранную точку от связей, заменив действие связей реакциями.
3. К активным силам и реакциям связей добавить силу инерции, направив её противоположно ускорению. При неравномерном криволинейном движении добавляем касательную и нормальную силы инерции, направляя их противоположно соответствующим ускорениям.
4. Провести координатные оси и составить уравнения равновесия. Если линии действия всех сил лежат на одной прямой, то составляют одно уравнение.
5. Решив уравнения, определить искомые величины.

Пример 7.

Шарик, масса которого равна 0,2 кг, привязан к нити длиной 0,8 метра и вращается вместе с ней в вертикальной плоскости (рисунок 20).

В положении, изображённом на рисунке, скорость шарика равна 6 м/с.

Определить натяжение нити.

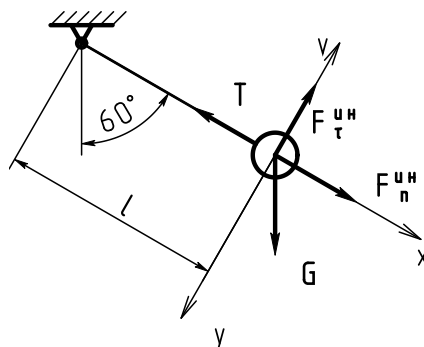


Рис. 20

Решение

1. Будем рассматривать движение шарика, считая его материальной точкой.
2. Реакция нити направлена по нити к точке подвеса.
3. Условно добавляем силы инерции: нормальную силу инерции $F_n^{\text{ин}}$, направленную по нормали к траектории (по радиусу) от центра и касательную силу инерции $F_\tau^{\text{ин}}$, направленную по скорости, предполагая, что движение замедленное.
4. Проводим ось «х» по нити.
5. Составляем уравнения равновесия. На шарик действует условно уравновешенная система сходящихся сил. Так как требуется определить только натяжение нити, то составим только одно уравнение равновесия.

$$\sum F_{nx} = 0. \quad -T + F_n^{\text{ин}} + G \cdot \cos 60^\circ = 0. \quad \text{Из этого уравнения} \quad T = F_n^{\text{ин}} + G \cdot \cos 60^\circ.$$

$$F_n^{\text{ин}} = m \frac{v^2}{R}, \quad \text{где } R = l, \quad G = m \cdot g. \quad T = 0,2 \cdot \frac{6^2}{0,8} + 0,2 \cdot 9,8 \cdot 0,5 = 10 \text{ Н}.$$

Искомое натяжение нити равно по модулю реакции нити, но направлено в противоположную сторону.

Ответ: 10 Н.

Пример 8.

Мощность на выходном валу двухступенчатой зубчатой передачи $P_3 = 6$ кВт. Окружная сила $F_{t4} = 1400$ Н, делительный диаметр зубчатого колеса $d_4 = 120$ мм.

Определить мощность P_1 на входном (первом) валу передачи, если общий к.п.д. передач равен 0,8.

Определить угловую скорость выходного вала ω_3 .

Решение

1. Определяю мощность на первом валу:

$$\eta = \frac{P_3}{P_1}, \text{ следовательно } P_1 = \frac{P_3}{\eta} \quad P_1 = \frac{6}{0,8} = 7,5 \text{ кВт}$$

2. Определяю вращающий момент на выходном валу

$$M_3 = \frac{F_{t4} \cdot d_4}{2}, \quad d_4 = 120 \text{ мм} = 0,12 \text{ м.}$$

$$M_3 = \frac{1400 \cdot 0,12}{2} = 84 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

3. Определяю угловую скорость выходного вала.

$$\omega_3 = \frac{P_3}{M_3}, \quad \omega_3 = \frac{6 \cdot 10^3}{84} = 71,4 \text{ рад/с};$$

Ответ: $P_1 = 7,5$ кВт; $\omega_3 = 71,4$ рад/с.

Примечания:

1. В некоторых задачах требуется определить работу силы, величина которой неизвестна. В этом случае надо воспользоваться теоремой о работе равнодействующей, т.е. предварительно определить силу, составив уравнения равновесия статики, если движение тела равномерное или использовать метод кинетостатики, если движение неравномерное.

2. Работа постоянной силы при прямолинейном равномерном движении $A = F \cdot S \cdot \cos \alpha$, где α – угол между силой и скоростью.

3. Работа силы трения $A = - F_f \cdot S$, т.к. угол $\alpha = 180^\circ$ и $\cos 180^\circ = -1$.

4. Работа силы тяжести $A = G \cdot (h_1 - h_2)$,
где h_1 – начальная высота центра тяжести,
 h_2 – конечная высота центра тяжести.

Работа силы тяжести отрицательна, если тело движется вверх.

Работа силы тяжести положительна, если тело движется вниз.

Работа силы тяжести равна нулю, если тело движется горизонтально.

Работа силы тяжести не зависит от вида траектории.

Задачи 36, 37 решаются с использованием теоремы об изменении количества движения материальной точки.

Рекомендуемая последовательность решения задач:

1. Изобразить материальную точку в произвольном промежуточном положении.
2. Показать все силы, приложенные к точке, т. е. активные силы и реакции связей.
3. Показать направление движения (скорость).
4. Выбрать систему координат.
5. Записать теорему об изменении количества движения материальной точки в проекциях на эти оси.
6. Решив уравнения, определить искомые величины.

Пример 9.

Тело массой 60кг движется по горизонтальной шероховатой поверхности под действием силы $F = 300\text{Н}$ (рисунок 21). Коэффициент трения скольжения $f = 0,3$. Сколько времени должна действовать сила, чтобы скорость тела изменилась с 8 м/с до 23 м/с?

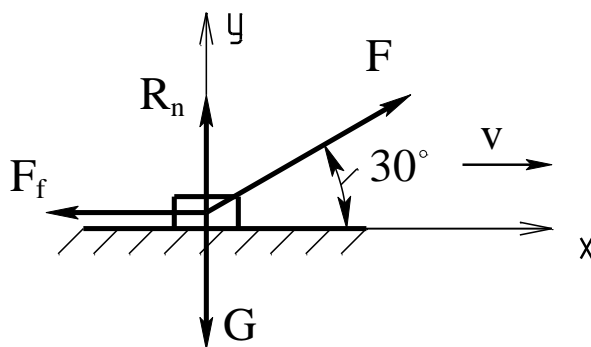


Рис. 21

Решение

1. Так как поверхность шероховатая, то кроме нормальной реакции R_n изображаем силу трения F_f , направляя её противоположно скорости.
2. Оси координат направляем так, чтобы возможно большее число сил было параллельно или перпендикулярно к осям.
3. Запишем теорему об изменении количества движения в проекциях на оси координат.

$$1). (-F_f + F \cdot \cos 30^\circ) \cdot \Delta t = mv_2 - mv_1.$$

$$2). (R_n - G + F \cdot \cos 60^\circ) \cdot \Delta t = 0;$$

$$\text{Из 1}^{\text{го}} \text{уравнения } \Delta t = \frac{mv_2 - mv_1}{-F_f + F \cdot \cos 30^\circ}; \quad F_f = R_n \cdot f.$$

Нормальную реакцию R_n определим из 2^{го} уравнения:

$$R_n - G + F \cdot \cos 60^\circ = 0, \text{ (т.к. } \Delta t \neq 0).$$

$$R_n = G - F \cdot \cos 60^\circ. \quad G = m \cdot g.$$

$$R_n = 60 \cdot 9,8 - 300 \cdot 0,5 = 438\text{Н}. \quad \text{Тогда сила трения } F_f = 438 \cdot 0,3 = 131,4\text{Н}.$$

$$\Delta t = \frac{60 \cdot 23 - 60 \cdot 8}{-131,4 + 300 \cdot 0,866} = 7\text{с}.$$

Ответ: $\Delta t = 7\text{ с}.$

Задачи 38, 39, 40 решаются с использованием теоремы об изменении кинетической энергии материальной точки.

Рекомендуемая последовательность решения задач:

1. Изобразить точку в промежуточном положении (а иногда в начальном и конечном положениях).
2. Показать активные силы и реакции связей.
3. Указать направление движения (скорость).
4. Вычислить сумму работ всех сил, приложенных к материальной точке, на её перемещении.
5. Вычислить кинетическую энергию материальной точки в её начальном и конечном положениях.
6. Применив теорему об изменении кинетической энергии материальной точки, определить искомую величину.

Пример 10.

Шарик подвешен на нити длиной 1,3 метра (рисунок 22). Вследствие толчка шарик получил горизонтальную скорость 7 м/с. Определить скорость шарика при повороте нити на 60° .

Решение

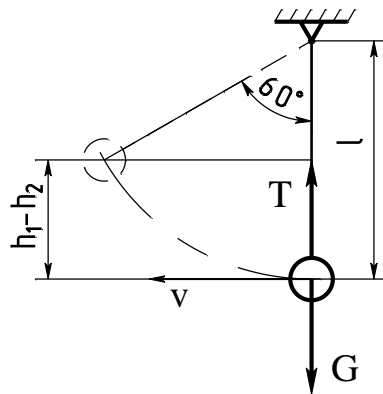


Рис. 22

1. Работа силы тяжести $A = G \cdot (h_1 - h_2)$.

Начальная высота центра тяжести шарика меньше конечной высоты, т. е. $h_1 - h_2 < 0$

Из рисунка $|h_1 - h_2| = l - l \cdot \cos 60^\circ = l/2$.

Тогда работа силы тяжести $A = -G \cdot l/2$.

Работа реакции связи Т равна нулю ($A_T = 0$), т.к. реакция Т перпендикулярна скорости v .

2. Кинетическая энергия в начальном положении $E_{1K} = \frac{m \cdot v_1^2}{2}$,

в конечном положении $E_{2K} = \frac{m \cdot v_2^2}{2}$.

3. По теореме об изменении кинетической энергии $\frac{m \cdot v_2^2}{2} - \frac{m \cdot v_1^2}{2} = -G \cdot \frac{l}{2}$;

Сила тяжести $G = m \cdot g$, тогда $v_2 = \sqrt{v_1^2 - g \cdot l}$, $v_2 = \sqrt{7^2 - 9,8 \cdot 1,3} = 6 \text{ м/с}$.

Ответ: $v_2 = 6 \text{ м/с}$.

Пятую задачу (задачи 41...50) следует решать после изучения тем: 2.1; 2.2.

Пример 11.

Для двухступенчатого бруса, нагруженного силами $F_1 = 40$ кН и $F_2 = 60$ кН, (рис. 23) построить эпюры продольных сил и нормальных напряжений. Определить удлинение (укорочение) бруса. Модуль продольной упругости $E = 2 \cdot 10^5$ МПа. Площади поперечных сечений бруса: $A_1 = 350 \text{ мм}^2$, $A_2 = 1200 \text{ мм}^2$.

Решение.

1. Разделим брус на участки, границы которых определяются сечениями, где изменяется площадь поперечного сечения или приложены внешние силы.

Продольная сила, возникающая в сечении, равна алгебраической сумме внешних сил, расположенных по одну сторону от рассматриваемого сечения.

Внешнюю силу записывают со знаком плюс, если она направлена от сечения и со знаком минус, если к сечению.

Рассечём брус в пределах первого участка и отбросим левую часть бруса:

$$N_{Z1} = F_1 = 40 \text{ кН} = 40 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Аналогично, в пределах второго участка отбросим левую часть, тогда

$$N_{Z2} = F_1 = 40 \text{ кН} = 40 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

Продольная сила на третьем участке

$$N_{Z3} = F_1 - F_2 = 40 - 60 = -20 \text{ кН} = -20 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

2. Построим эпюру продольных сил. Для этого параллельно оси бруса проводим нулевую линию. Выше неё откладываем положительные значения продольной силы, а ниже – отрицательные. В сечении, где приложена внешняя сосредоточенная сила, имеет место скачок на величину этой силы.

3. Определяем нормальные напряжения в точках поперечных сечений бруса и строим эпюру напряжений.

На эпюре нормальных напряжений имеется скачок не только там, где приложена внешняя сила, но и в сечениях, площадь которых изменяется скачком.

$$\sigma_1 = \frac{N_{Z1}}{A_1}; \quad \sigma_1 = \frac{40 \cdot 10^3}{350} = 114,3 \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{N_{Z2}}{A_2}; \quad \sigma_2 = \frac{40 \cdot 10^3}{1200} = 33,3 \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{N_{Z3}}{A_3}; \quad \sigma_3 = \frac{-20 \cdot 10^3}{1200} = -16,7 \text{ МПа}.$$

4. Определяем удлинения участков бруса.

$$\Delta l_1 = \frac{N_{Z1} \cdot l_1}{A_1 \cdot E}; \quad \Delta l_1 = \frac{40 \cdot 10^3 \cdot 70}{350 \cdot 2 \cdot 10^5} = 0,04 \text{ мм}$$

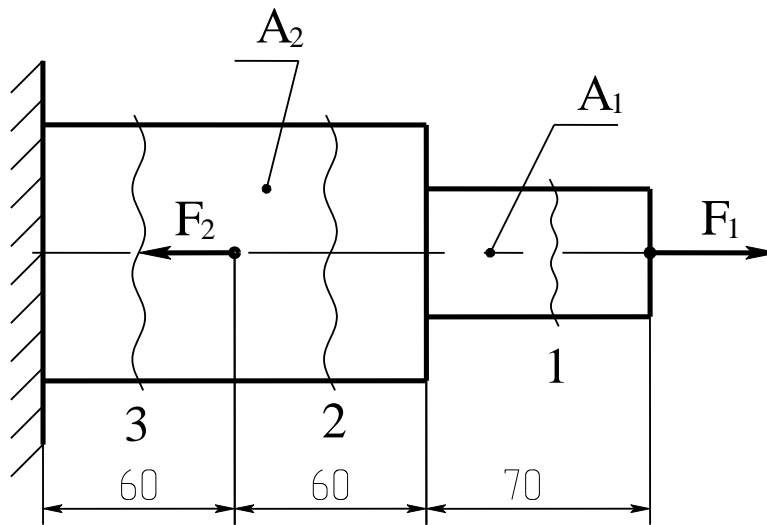
$$\Delta l_2 = \frac{N_{Z2} \cdot l_2}{A_2 \cdot E}; \quad \Delta l_2 = \frac{40 \cdot 10^3 \cdot 60}{1200 \cdot 2 \cdot 10^5} = 0,01 \text{ мм}$$

$$\Delta l_3 = \frac{N_{Z3} \cdot l_3}{A_3 \cdot E}; \quad \Delta l_3 = \frac{-20 \cdot 10^3 \cdot 60}{1200 \cdot 2 \cdot 10^5} = -0,005 \text{ мм.}$$

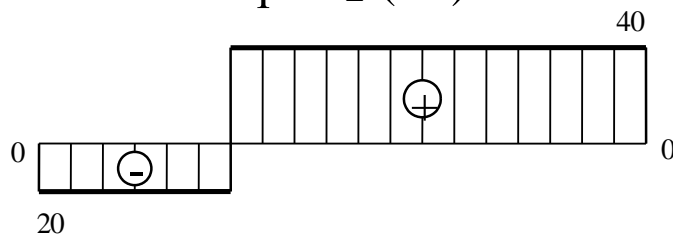
5. Определяем общее удлинение бруса.

$$\Delta l = \Delta l_1 + \Delta l_2 + \Delta l_3;$$

$$\Delta l = 0,04 + 0,01 - 0,005 = 0,045 \text{ мм.}$$



Эпюра N_z (кН)



Эпюра σ (МПа)

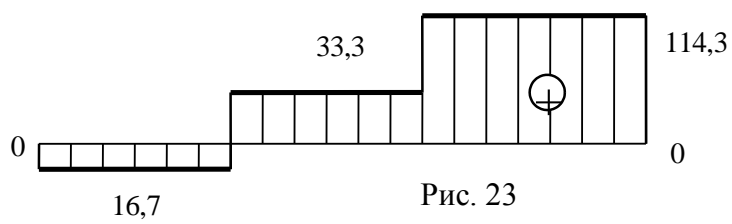


Рис. 23

6. ЗАДАЧИ ДЛЯ ЧАСТИ №2 КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Задачи 51*...60*.

Для двухопорной балки, нагруженной силами F_1 и F_2 и парой сил с моментом M (рис.1), определить реакции опор, построить эпюры поперечных сил, изгибающих моментов и подобрать размер поперечного сечения (двутавр или два швеллера), приняв $[\sigma] = 160 \text{ МПа}$.

Данные для своего варианта выбрать из таблицы 2.

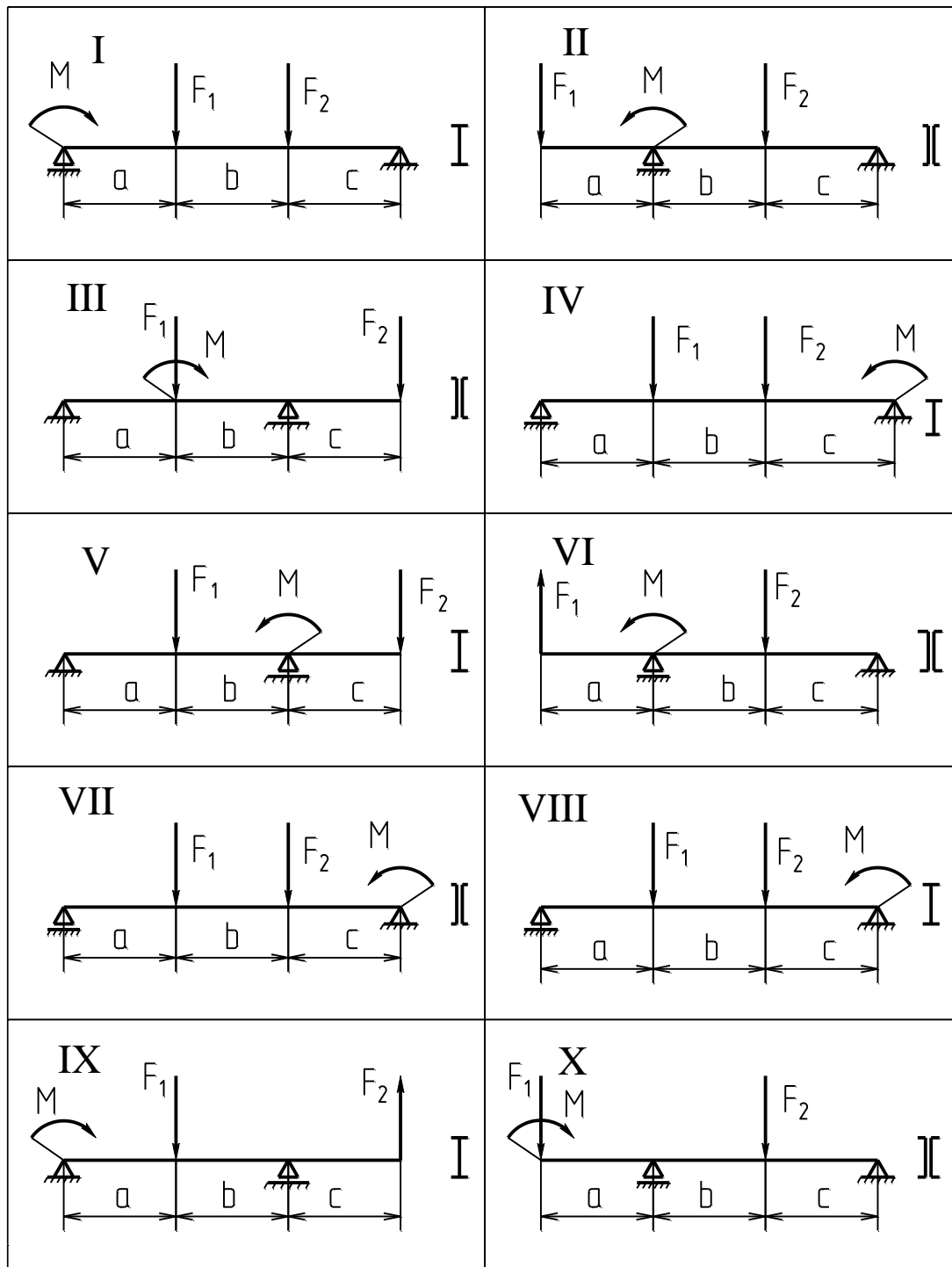


Рис.1

Таблица 2

№ задачи и схемы на рис.1	Вари- ант	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	F ₁	F ₂	М
		м			кН		кНм
1	2	3	4	5	6	7	8
51, I	00	2	2	1	20	10	12
	12	1	2,2	1	12	8	20
	27	1	1,8	2	10	12	15
	31	3	1	1	8	20	10
	49	2	1	2	16	8	8
	58	1	2	2,8	12	20	12
52, II	01	1	2	2	12	20	7
	19	1,2	2,4	2,8	10	30	9
	29	1,5	1	2,8	16	8	5
	30	0,8	2	2	20	10	20
	39	1	2,2	2	25	15	18
	59	1,5	2,3	2,5	15	25	12
53, III	02	1	2,1	0,5	20	1	4
	11	2	2,4	0,8	18	8	2
	23	1,5	2	1	16	2	3
	33	2	1,6	1,2	15	4	5
	42	2	1,6	1,5	12	5	7
	56	2,5	1,5	1	10	2	4
54, IV	03	2,5	2,5	1	1	2	2
	17	1,5	2,5	1	1	4	4
	22	1,5	1	2,5	1,2	6	5
	32	1	1,5	2,5	1,5	2	3
	41	1	2,5	1,5	4	2	6
	57	2	1	1,5	8	4	3
	60	1,5	1,5	1	6	12	7

1	2	3	4	5	6	7	8
55, V	05	2	2,4	0,4	10	5	10
	14	2,2	2	0,5	12	6	12
	25	2,5	2,5	0,6	14	7	13
	35	2,8	1,5	0,8	20	10	15
	44	1,5	2,6	1	18	9	10
	54	1,4	2,8	1,5	8	4	4
56, VI	04	1,2	2,6	2	5	10	10
	15	1	2	2,8	6	12	8
	24	0,8	2,8	1,5	7	14	9
	34	1,5	2,5	2,5	10	20	7
	43	1,2	2,6	1,4	9	18	5
	55	1	2,8	1,5	4	8	3
57, VII	07	1	1,5	2,5	10	12	10
	13	1,5	1	2,5	12	10	8
	21	1,5	2,5	1	20	14	9
	37	2,5	1,5	1	14	20	10
	46	2,5	1	1,5	18	22	8
	52	1	2,5	1,5	22	18	10
58, VIII	06	0,5	1,5	2,8	8	10	8
	18	1,5	0,5	2,8	10	8	3
	26	1,5	2,6	0,5	12	16	2
	36	2,4	1,5	0,6	12	8	5
	45	2,6	0,5	1,5	10	6	4
	53	0,8	2,6	1,5	8	14	7
59, IX	09	1,5	2,6	1	10	12	10
	10	1,8	1,8	1	12	6	12
	20	1	2,8	1,2	14	7	14
	38	1,5	2,8	1,2	16	10	10
	48	2,8	2	1,5	6	4	16
	50	2,5	2,5	1,5	8	16	12

1	2	3	4	5	6	7	8
60, X	08	0,5	1,5	3	10	10	15
	16	0,6	2,5	1,5	8	12	12
	28	0,7	1,5	2,5	12	14	10
	40	1	1,6	2,5	4	16	8
	47	1	2,5	1,5	5	20	9
	51	0,5	0,6	1,5	5	18	5

Задачи 61...70

Мощность на ведомом валу цилиндрической прямозубой передачи P (кВт) (рис.2), угловая скорость ω (рад/с).

Выходной конец вала работает только на кручение. Делительный диаметр зубчатого колеса d (мм) и длины участков вала (мм) указаны на схемах (рис.2).

Построить эпюру крутящего момента, эпюры изгибающих моментов в вертикальной и горизонтальной плоскостях, полагая $F_t = 0,36 F_t$.

Определить из расчётов на прочность и жёсткость диаметр выходного конца вала, приняв $[\tau] = 30$ МПа, $[\varphi_0] = 0,02$ рад/м, $G = 0,8 \cdot 10^5$ МПа.

Из условий сборки назначить диаметр вала под подшипниками.

Определить диаметр вала под серединой зубчатого колеса, приняв $[\sigma] = 60$ МПа.

В задачах 61...65 расчёт выполнять по гипотезе наибольших касательных напряжений (III гипотеза), а в задачах 66...70 – по гипотезе удельной потенциальной энергии изменения формы (V гипотеза).

Данные для своего варианта выбрать их таблицы 3.

Примечания:

1. Расчётный диаметр выходного конца вала округлить до ближайшего большего целого числа, оканчивающегося на 0; 2; 5; 8.
2. Диаметр вала под подшипниками увеличить по сравнению с диаметром выходного конца до ближайшего целого числа, оканчивающегося на 0 или 5.
3. Диаметр вала под зубчатым колесом должен быть по условиям сборки больше диаметра вала под подшипниками на 1...3 миллиметра и оканчиваться на 2 и 8, а также числа 26; 36; 63.

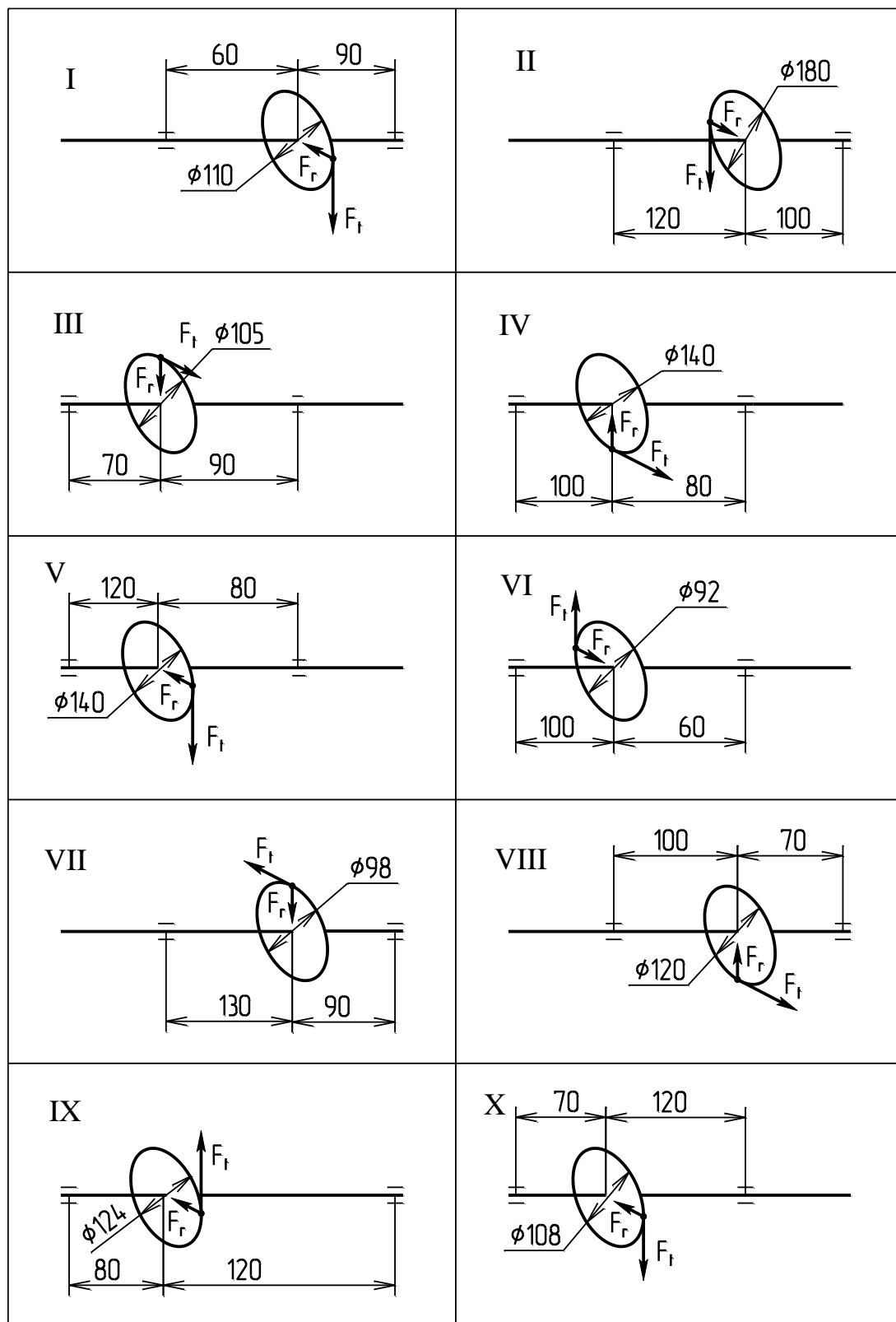


Рис.2

Таблица 3

№ зада- чи и схемы на рис.2	Вариант	Р кВт	ω Рад/с	№ задачи и схемы на рис.2	Вариант	Р кВт	ω рад/с
1	2	3	4	5	6	7	8
61, I	00	17	70	62, II	01	6	25
	18	15	65		11	8	30
	26	13	50		29	9	35
	35	11	40		34	7	40
	43	16	60		46	10	50
	57	14	55		56	4	25
					60	11	45
63, III	02	4	20	64, IV	03	12	55
	19	7	35		16	14	60
	28	9	40		21	16	65
	37	15	55		36	17	75
	45	17	65		48	17	70
	59	10	38		58	15	65
65, V	05	13	55	66, VI	04	4	20
	14	20	70		17	6	30
	20	14	60		23	8	40
	38	18	65		31	5	28
	47	4	25		40	9	35
	51	16	70		50	7	30
67, VII	08	15	60	68, VIII	09	4	20
	13	18	65		12	10	40
	22	4	22		35	5	30
	39	20	70		30	6	35
	49	17	68		42	7	42
	53	14	50		52	8	45

1	2	3	4	5	6	7	8
69, IX	06	4	18	70, X	07	4	25
	19	13	55		15	8	40
	24	11	43		27	12	45
	33	9	35		32	16	55
	41	7	40		44	18	50
	55	5	25		54	10	40
	10	6	50		-	-	-

Задачи 71...80

Двухступенчатая передача (рис.3) состоит из ремённой или цепной передачи и одноступенчатого редуктора. Мощность на выходном валу P_3 (кВт), частота вращения ведомого вала n_3 (об/мин), передаточное число редуктора u_p .

Определить:

- передаточное число ремённой (цепной) передачи и общее передаточное число;
- угловые скорости всех валов;
- общий к.п.д. передачи;
- мощности и вращающие моменты на каждом валу.

Данные для своего варианта выбрать из таблицы 4.

Таблица 4

№ задачи и схемы на рис.3	Вариант	P _з кВт	пз об/мин	ц _р
1	2	3	4	5
71, I	09	3,4	340	1,5
	13	4,4	300	1,8
	24	6	270	2
	33	8	220	2,5
	41	10	190	2,8
	55	5	170	3,15
72, II	06	8	190	2,8
	12	3	220	2,5
	25	4,5	140	2
	30	6,5	120	3,15
	42	3,2	150	1,8
	52	8	180	1,6
73, III	08	6,5	230	1,8
	15	3,6	210	2
	27	8	220	2,8
	32	4,7	250	2,5
	44	9	200	1,6
	54	6,5	350	1,8
74, IV	07	6,3	80	3,15
	10	8	90	2,8
	22	5,6	210	2,5
	33	9	250	2
	49	4,4	230	2,24
	53	8	400	1,6
75, V	04	3	290	3,15
	11	4	230	2,8
	23	5,4	180	1,6
	31	5,6	260	2,5
	40	3	150	2
	50	3,8	200	3,15
76, VI	05	2,6	270	2,5
	18	3,6	210	2,8
	20	5	190	2
	38	2,7	180	3,15
	47	6	250	1,6
	51	8,7	220	1,8

77, VII	00	5,4	340	2,8
	14	7,5	300	2
	26	5	220	2,5
	35	4	170	3,15
	43	5,6	190	1,6
	57	7	160	1,8
78, VIII	01	4,5	90	1,6
	17	8	180	1,8
	29	7	200	2
	34	5	180	2,24
	46	4	160	3,15
	56	3,5	100	1,8
	60	4	150	1,6
79, IX	03	10	290	1,6
	19	6	185	1,8
	21	4,4	230	2,24
	36	5,3	260	2,5
	45	3,8	170	2,8
	58	5,8	150	3,15
80, X	02	4,2	160	2,24
	16	7	240	2,5
	28	8	150	3,15
	37	5,6	120	1,6
	45	6	260	1,8
	59	5,6	220	2,24

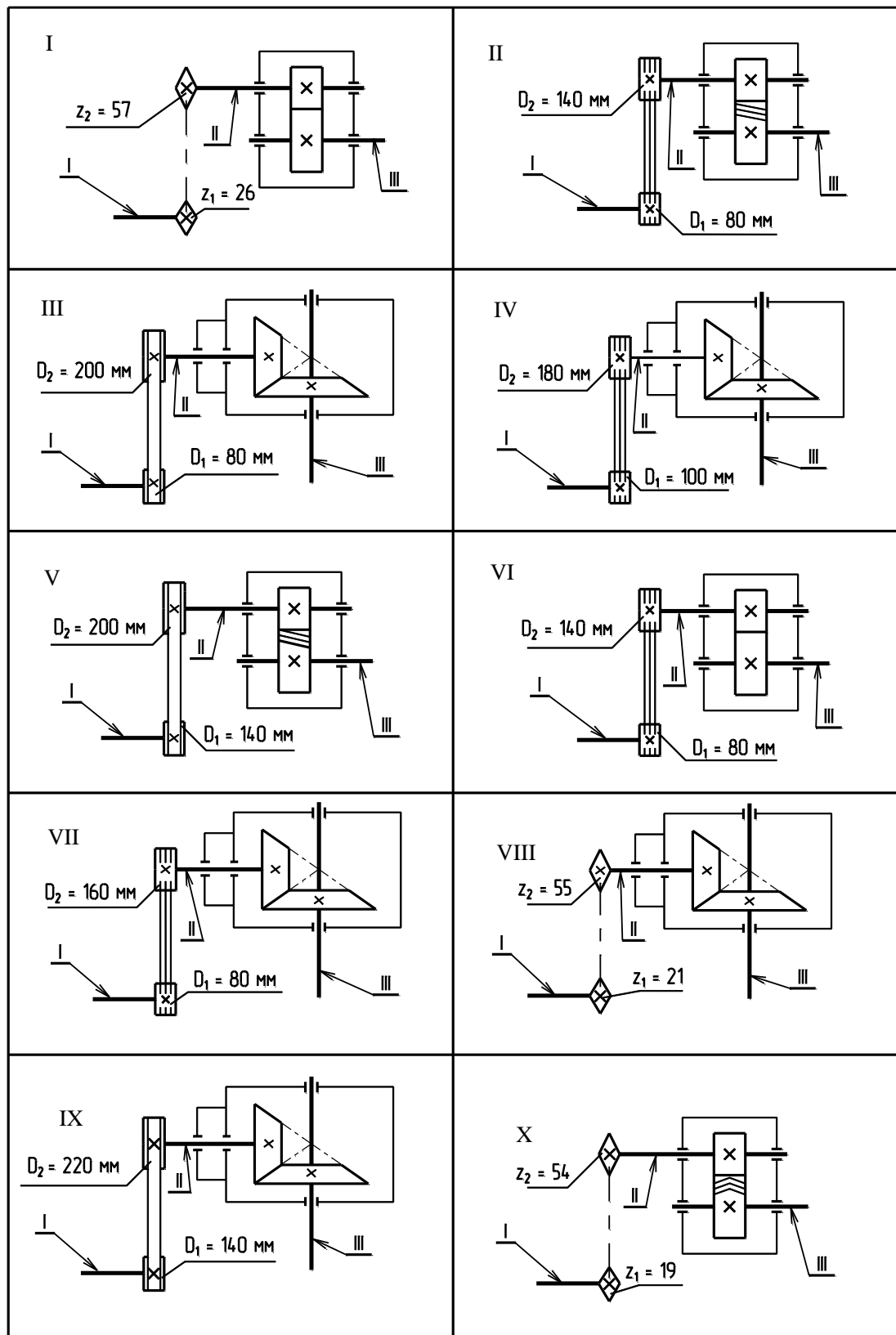


Рис.3

Задачи 81...90

Подобрать по динамической грузоподъёмности радиальные однорядные шариковые подшипники для ведомого вала цилиндрической прямозубой передачи. Числовые значения диаметра вала под подшипниками d_n , угловой скорости ω , реакций опор для своего варианта взять из задач 61...70.

Требуемая долговечность подшипника $L_h = 10000$ часов при 90% надёжности. Температура подшипника $t < 100^\circ \text{C}$, нагрузка с лёгкими толчками.

Задачи 91...100

Подобрать призматическую шпонку со скруглёнными торцами, с помощью которой зубчатое колесо (рис.4) передаёт вращающий момент M валу. Числовые значения вращающего момента M и диаметра вала под зубчатым колесом d_c для своего варианта взять из задач 61...70. Принять длину ступицы $l_{ст} = (1,2 \dots 1,5) \cdot d_c$. Соединение неподвижное. Нагрузка с лёгкими толчками. Выполнить проверочный расчёт соединения на смятие.

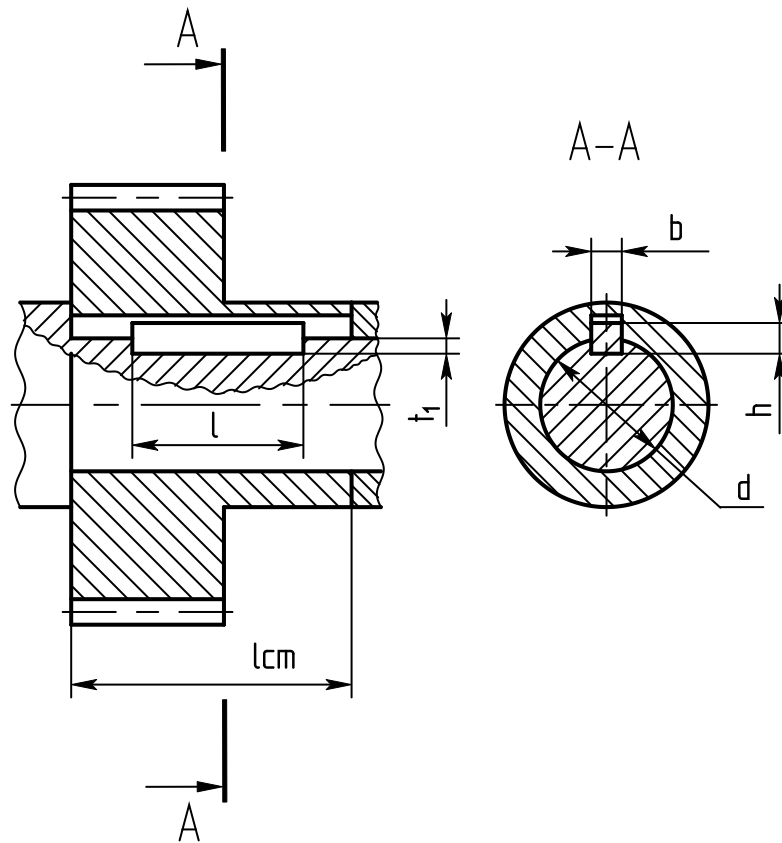
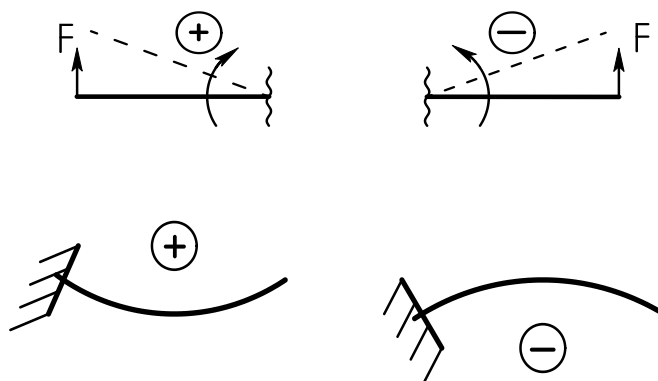


Рис.4

7. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ И ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ЧАСТИ №2 КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ.

Первую задачу (задачи 51...60) следует решать после изучения темы 2.5.

При прямом поперечном изгибе в поперечных сечениях балки возникают два внутренних силовых фактора - поперечная сила Q_y и изгибающий момент M_x . Поперечная сила в сечении равна алгебраической сумме внешних сил, расположенных по одну сторону от сечения. Внешнюю силу записывают со знаком плюс, если она поворачивает рассматриваемую часть балки относительно сечения по часовой стрелке и со знаком минус, если против часовой.



Изгибающий момент равен алгебраической сумме моментов внешних сил, расположенных по одну сторону от сечения, относительно сечения. Момент силы записывают со знаком плюс, если сила выгибает балку выпуклостью вниз, и со знаком минус, если выпуклостью вверх. При определении изгибающего момента нужно мысленно защементировать балку в рассматриваемом сечении. При определении поперечных сил и изгибающих моментов нужно балку разбить на участки. Границами участков являются сечения, в которых приложены сосредоточенные силы или моменты, а также сечения, где начинается или кончается распределённая нагрузка.

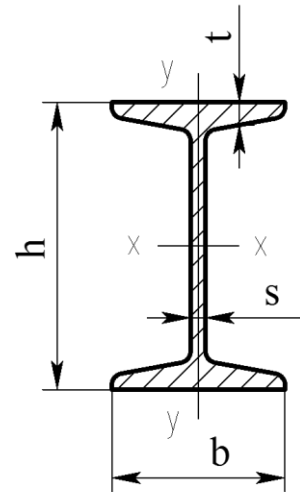
Для построения эпюр поперечных сил и изгибающих моментов нужно запомнить следующие правила:

1. На участке балки, где отсутствует распределённая нагрузка, эпюра Q_y – прямая, параллельная оси балки, а эпюра M_x – наклонная прямая.
2. В сечении, где приложена сосредоточенная сила, на эпюре Q_y скачок на величину приложенной силы, а на эпюре M_x – излом.
3. В сечении, где приложен момент, на эпюре M_x – скачок на величину момента, а на эпюре Q_y в этом сечении внешний момент не сказывается.
4. На участке с равномерно распределённой нагрузкой эпюра Q_y – наклонная прямая, а эпюра M_x – парабола, обращённая выпуклостью навстречу распределённой нагрузке.
5. Если на участке с распределённой нагрузкой эпюра Q_y пересекает нулевую линию, то в этом сечении изгибающий момент имеет экстремальное значение.
6. Если на конце балки приложен момент, то изгибающий момент в этом сечении равен приложенному моменту.

Пример 1.

Для балки (рис 5) построить эпюры поперечных сил и изгибающих моментов, если сосредоточенные силы $F_1=4\text{кН}$, $F_2=8\text{кН}$, момент $M=11\text{кН}\cdot\text{м}$, расстояние

$a=2\text{м}$, $b=4\text{м}$, $c=3\text{м}$. Подобрать номер двутавра, приняв $[\sigma]=160\text{МПа}$.



Решение.

1. Определяем реакции опор.

$$\Sigma m_A(F_n) = 0. \quad F_1 \cdot a - M + R_B \cdot (b + c) - F_2 \cdot b = 0.$$

Тогда

$$R_B = \frac{-F_1 \cdot a + F_2 \cdot b + M}{b + c} = \frac{-4 \cdot 2 + 8 \cdot 4 + 11}{4 + 3} = 5 \text{ кН}$$

$$\Sigma m_B(F_n) = 0. \quad F_1 \cdot (a + b + c) - R_A \cdot (b + c) + F_2 \cdot c - M = 0.$$

Тогда

$$R_A = \frac{F_1 \cdot (a + b + c) + F_2 \cdot c - M}{b + c} = \frac{4 \cdot 9 + 8 \cdot 3 - 11}{4 + 3} = 7 \text{ кН}$$

Для проверки правильности определения реакций составляем третье уравнение равновесия – сумма проекций всех сил на ось «у» равна нулю.

$\Sigma F_{ny} = 0. \quad -F_1 + R_A - F_2 + R_B = 0. \quad -4 + 7 - 8 + 5 = 0. \quad 0 = 0$, следовательно, реакции определены правильно.

2. Определяем поперечные силы Q_y и строим эпюру (график) поперечных сил.

На участке «СА» проводим сечение «К». $Q_{yK} = -F_1 = -4 \text{ кН}$.

Или $Q_{yK} = -R_B + F_2 - R_A = -5 + 8 - 7 = -4 \text{ кН}$, если рассматривать силы слева от сечения «К». Внешний момент $M = 11 \text{ кН}\cdot\text{м}$ при определении поперечной силы не учитывают.

Так как на участке «СА» поперечная сила постоянна, то эпюра Q_y на этом участке – прямая, параллельная оси балки.

На участке «AD» проводим сечение «L». $Q_{yL} = -F_1 + R_A = -4 + 7 = 3 \text{ кН}$.

Или $Q_{yL} = -R_B + F_2 = -5 + 8 = 3 \text{ кН}$.

На участке «DB» проводим сечение «N». $Q_{yN} = -F_1 + R_A - F_2 = -4 + 7 - 8 = -5 \text{ кН}$.

Или $Q_{yN} = -R_B = -5 \text{ кН}$.

3. Определяем изгибающие моменты M_x и строим эпюру изгибающих моментов.

на участке «СА» $M_{xK} = -F_1 \cdot CK$. Это равенство является уравнением прямой наклонной линии. Из уравнения видно, что величина изгибающего момента зависит от положения сечения (от длины отрезка CK).

$M_{xC} = 0$. $M_{xA} = -F_1 \cdot CA = -4 \cdot 2 = -8 \text{ кН}\cdot\text{м}$.

При определении изгибающих моментов на участке «СА» мысленно отбрасывали часть балки, расположенную справа от сечения «К» и рассматривали левую часть, так как слева приложена одна сила.

На участке «AD» $M_{xL} = -F_1 \cdot CL + R_A \cdot AL$

Эта зависимость справедлива для любого сечения на участке «AD», следовательно, $M_{xA} = -F_1 \cdot CA + R_A \cdot 0$.

$M_{xA} = -4 \cdot 2 + 7 \cdot 0 = -8 \text{ кН}\cdot\text{м}$

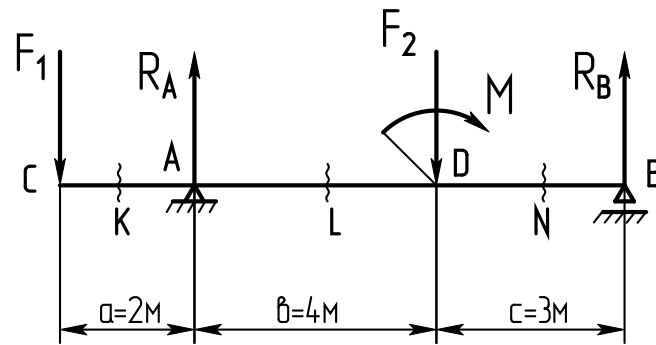
$M_{xD} = -F_1 \cdot CD + R_A \cdot AD = -4 \cdot 6 + 7 \cdot 4 = 4 \text{ кН}\cdot\text{м}$

На участке «DB» $M_{xN} = -F_1 \cdot CN + R_A \cdot AN - F_2 \cdot DN + M$, если рассматривать левую часть балки, или $M_{xN} = R_B \cdot NB$, если рассматривать правую часть балки (что значительно проще). $M_{xD} = R_B \cdot DB = 5 \cdot 3 = 15 \text{ кН}\cdot\text{м}$. $M_{xB} = 0$.

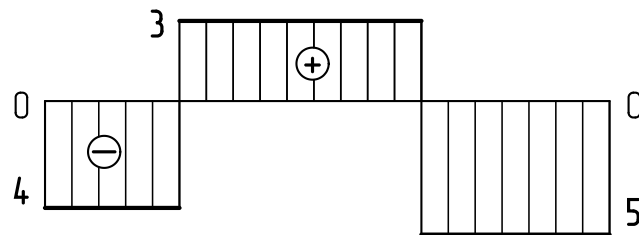
4. Из условия прочности $\sigma = \frac{M_x}{W_x} \leq [\sigma]$ определяем требуемый осевой момент сопротивления поперечного сечения балки.

$$W_x \geq \frac{M_x}{[\sigma]}; \quad W_x \geq \frac{15 \cdot 10^6}{160} = 93,8 \cdot 10^3 \text{ мм}^3 = 93,8 \text{ см}^3.$$

По расчётному значению W_x выбираем двутавр №16, у которого $W_x = 109,9 \text{ см}^3$ (Приложение 1 данного пособия).



Эпюра Q_y (кН)



Эпюра M_x (кНм)

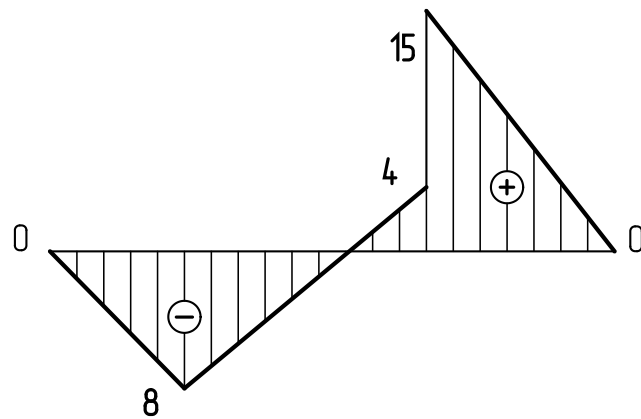


Рис.5

Примечание.

Если балка состоит из двух швеллеров, то нужно по расчётному значению W_x определить осевой момент сопротивления поперечного сечения каждого швеллера $W_{1x} = \frac{W_x}{2}$ и по нему выбрать номер швеллера (Приложение 2 данного пособия).

Вторую задачу (задачи 61...70) следует решать после изучения тем 2.7, 3.3, 3.4.

В этих задачах рассматриваются виды нагружений: кручение и сочетание изгиба с кручением. На кручение работает выходной конец вала.

Из условия прочности при кручении $\tau_{\max} = \frac{M_z}{W_p} \leq [\tau]$ определяем требуемый по-

лярный момент сопротивления поперечного сечения вала $W_p \geq \frac{M_z}{[\tau]}$

Из формулы $W_p = \frac{\pi d^3}{16}$ определяем диаметр вала $d = \sqrt[3]{\frac{16W_p}{\pi}}$.

Из условия жёсткости $\varphi_0 = \frac{M_z}{J_p} \leq [\varphi_0]$ определяем полярный момент инерции

$J_p = \frac{M_z}{G \cdot [\varphi_0]}$, где $[\varphi_0]$ - относительный допускаемый угол закручивания

(допускаемый угол закручивания на единицу длины вала) $\frac{\text{рад}}{\text{м}}$.

Из формулы $J_p = \frac{\pi d^4}{32}$ определяем диаметр вала $d = \sqrt[4]{\frac{32J_p}{\pi}}$.

Из двух вычисленных значений нужно выбрать больший и округлить его до стандартного значения.

Условие прочности при изгибе с кручением $\sigma_{\text{э. max}} = \frac{M_{\text{э}}}{W_x} \leq [\sigma]$, где

$\sigma_{\text{э. max}}$ - максимальное эквивалентное напряжение.

$M_{\text{э}}$ - максимальный (по модулю) эквивалентный момент.

$M_{\text{э}} = \sqrt{M_x^2 + M_y^2 + M_z^2}$ - по третьей гипотезе прочности,

$M_{\text{э}} = \sqrt{M_x^2 + M_y^2 + 0,75M_z^2}$ - по пятой гипотезе прочности.

Из условия прочности определяем осевой момент сопротивления поперечного сечения

$W_x \geq \frac{M_{\text{э}}}{[\sigma]}$. Из формулы $W_x = \frac{\pi d^3}{32}$ определяем диаметр вала $d = \sqrt[3]{\frac{32W_x}{\pi}}$

Расчётное значение диаметра округляем до стандартного значения, с учётом условий сборки.

Пример 2

Ведомый вал цилиндрической прямозубой передачи (рис.6а) изготовлен из среднеуглеродистой стали.

Мощность на валу $P = 12$ кВт, угловая скорость вала $\omega = 30 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$.

Выходной конец вала работает только на кручение.

Делительный диаметр зубчатого колеса $d = 100 \text{ мм}$.

Длины участков вала (в миллиметрах) указаны на рисунке.

Построить эпюру крутящего момента.

Определить из условий прочности и жёсткости диаметр выходного конца вала, приняв $[\varphi_0] = 0,02 \frac{\text{рад}}{\text{м}}$, $G = 0,8 \cdot 10^5 \text{ МПа}$, $[\tau] = 30 \text{ МПа}$.

Из условий сборки назначить диаметр вала под подшипниками.

Построить эпюры изгибающих моментов в вертикальной и горизонтальной плоскостях, приняв $F_r = 0,36 F_t$.

Определить диаметр вала под серединой зубчатого колеса, приняв $[\sigma] = 60 \text{ МПа}$.

Расчёт выполнять по гипотезе наибольших касательных напряжений (по третьей гипотезе прочности).

Решение.

1. Определяем вращающий момент

$$M = \frac{P}{\omega}; \quad M = \frac{12 \cdot 10^3}{30} = 400 \text{ Н} \cdot \text{м} = 400 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

$$\text{Окружная сила} \quad F_t = \frac{2M}{d}; \quad F_t = \frac{2 \cdot 400 \cdot 10^3}{100} = 8 \cdot 10^3 \text{ Н}.$$

$$\text{Радиальная сила} \quad F_r = 0,36 \cdot F_t; \quad F_r = 0,36 \cdot 8 \cdot 10^3 = 2,88 \cdot 10^3 \text{ Н}.$$

2. Определяем опорные реакции в вертикальной плоскости (от действия радиальной силы) (рис. 6б).

$$\Sigma m_A(F_n) = 0; \quad -F_r \cdot AC + R_{By} \cdot AB = 0.$$

$$R_{By} = \frac{F_r \cdot AC}{AB}; \quad R_{By} = \frac{2,88 \cdot 10^3 \cdot 50}{120} = 1,2 \cdot 10^3 \text{ Н}.$$

$$\Sigma m_B(F_n) = 0; \quad F_r \cdot BC - R_{Ay} \cdot AB = 0.$$

$$R_{Ay} = \frac{F_r \cdot BC}{AB}; \quad R_{Ay} = \frac{2,88 \cdot 10^3 \cdot 70}{120} = 1,68 \cdot 10^3 \text{ Н}.$$

Проверяем правильность определения реакций:

$$\Sigma F_{ny} = 0; \quad R_{Ay} - F_r + R_{By} = 0; \quad 1,68 \cdot 10^3 - 2,88 \cdot 10^3 + 1,2 \cdot 10^3 = 0.$$

$0 = 0$, следовательно, реакции определены правильно.

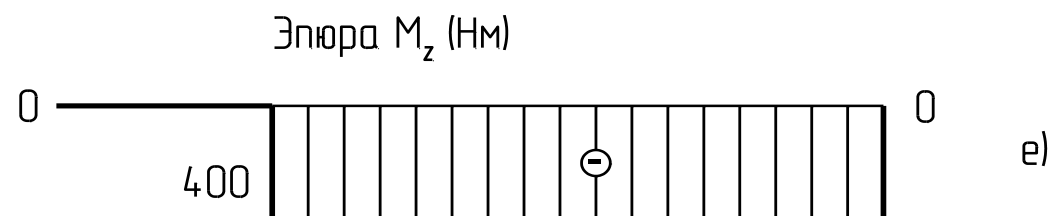
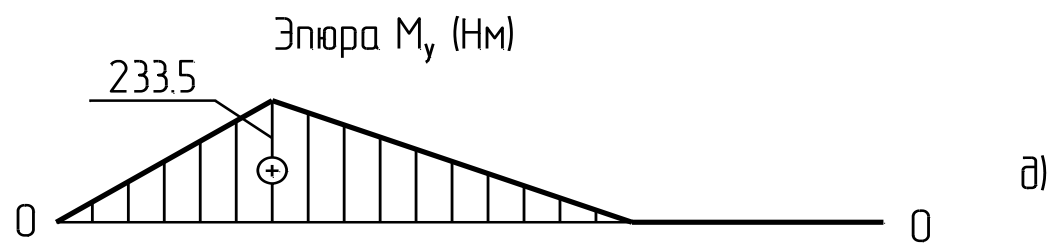
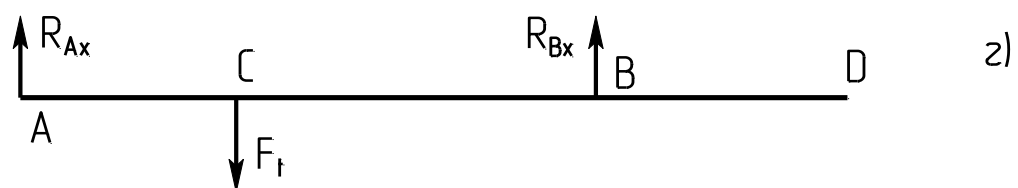
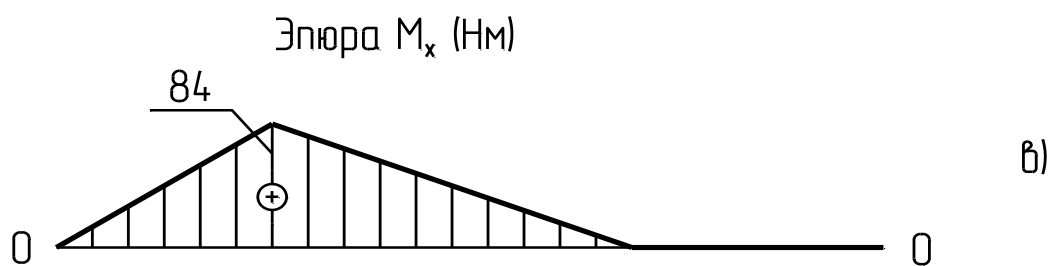
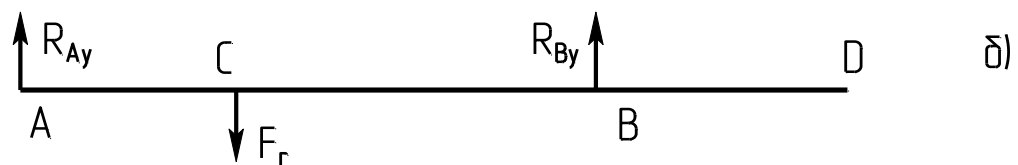
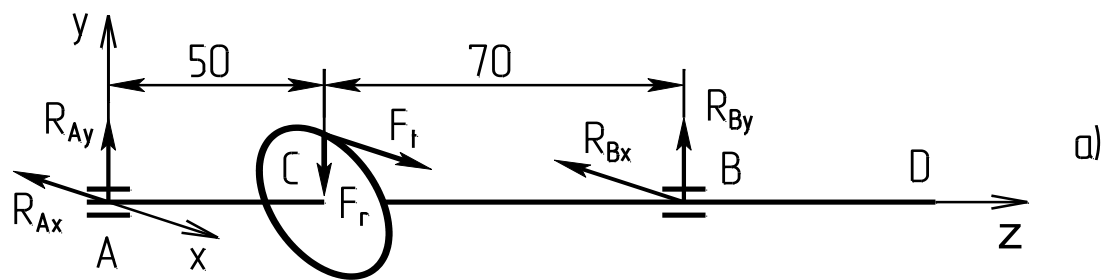


Рис 6

3. Определяем изгибающие моменты в вертикальной плоскости:

$$M_{xA} = 0; \quad M_{xC} = R_{Ay} \cdot AC; \quad M_{xC} = 1,68 \cdot 10^3 \cdot 50 = 84 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{мм}; \quad M_{xB} = 0; \quad M_{xD} = 0.$$

Строим эпюру изгибающих моментов M_x в вертикальной плоскости (рис.6в).

4. Определяем опорные реакции в горизонтальной плоскости (от действия окружной силы) (рис.6г).

$$\Sigma m_A(F_n) = 0; \quad -F_t \cdot AC + R_{Bx} \cdot AB = 0. \quad R_{Bx} = \frac{F_t \cdot AC}{AB}; \quad R_{Bx} = \frac{8 \cdot 10^3 \cdot 50}{120} = 3,33 \cdot 10^3 \text{ Н}.$$

$$\Sigma m_B(F_n) = 0; \quad F_t \cdot BC - R_{Ax} \cdot AB = 0; \quad R_{Ax} = \frac{F_t \cdot CB}{AB}; \quad R_{Ax} = \frac{8 \cdot 10^3 \cdot 70}{120} = 4,67 \cdot 10^3 \text{ Н}.$$

Проверяем правильность определения реакций

$$\Sigma F_{nx} = 0; \quad R_{Ax} - F_t + R_{Bx} = 0; \quad 4,67 \cdot 10^3 - 8 \cdot 10^3 + 3,33 \cdot 10^3 = 0.$$

$0=0$, следовательно, реакции определены правильно.

5. Определяем изгибающие моменты в горизонтальной плоскости.

$$M_{yA} = 0; \quad M_{yC} = R_{Ax} \cdot AC; \quad M_{yC} = 4,67 \cdot 10^3 \cdot 50 = 233,5 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{мм}; \quad M_{yB} = 0; \quad M_{yD} = 0.$$

Строим эпюру изгибающих моментов M_y в горизонтальной плоскости (рис.6д).

6. Определяем крутящий момент на участке CD:

$$M_z = -M = -400 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Строим эпюру крутящих моментов M_z (рис.6е).

7. Определяем диаметр выходного конца вала из условия прочности при кручении. $W_p \geq \frac{M_z}{[\tau]}$; Крутящий момент берут по модулю, в $\text{Н} \cdot \text{мм}$.

$$W_p \geq \frac{400 \cdot 10^3}{30} = 13,3 \cdot 10^3 \text{ мм}^3; \quad d_k = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot W_p}{\pi}}; \quad d_k \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 13,3 \cdot 10^3}{3,14}} = 41,4 \text{ мм}$$

8. Определяем диаметр выходного конца вала из условия жёсткости при кручении.

$$J_p \geq \frac{M_z}{G \cdot [\varphi_0]}; \quad [\varphi_0] = 0,02 \frac{\text{рад}}{\text{м}} = 0,02 \cdot 10^{-3} \frac{\text{рад}}{\text{мм}};$$

$$J_p \geq \frac{400 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 10^5 \cdot 0,02 \cdot 10^{-3}} = 25 \cdot 10^4 \text{ мм}^4.$$

$$J_p = \frac{\pi \cdot d_k^4}{32}, \quad \text{тогда} \quad d_k = \sqrt[4]{\frac{32 \cdot J_p}{\pi}}; \quad d_k \geq \sqrt[4]{\frac{32 \cdot 25 \cdot 10^4}{3,14}} = 40 \text{ мм}.$$

Из двух расчётных диаметров выбираем больший и округляем до стандартного значения $d_k = 42 \text{ мм}$.

9. Из условий сборки принимаем диаметр вала под подшипниками $d_{\Pi} = 45 \text{ мм}$.

10. Из эпюр изгибающих и крутящих моментов видно, что опасным является поперечное сечение вала, проходящее через точку «С»- под серединой зубчатого колеса. Определяем максимальный эквивалентный момент:

$$M_{\text{э}C} = \sqrt{M_{xC}^2 + M_{yC}^2 + M_{zC}^2};$$

$$M_{\text{э}C} = \sqrt{(84 \cdot 10^3)^2 + (233,5 \cdot 10^3)^2 + (400 \cdot 10^3)^2} = 470 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{мм}.$$

Из условия прочности при изгибе с кручением $W_x \geq \frac{M_{\text{э}C}}{[\sigma]}$

$$W_x \geq \frac{470 \cdot 10^3}{60} = 7,83 \cdot 10^3 \text{ мм}^3; \quad W_x = \frac{\pi \cdot d_C^3}{32}, \text{ тогда } d_C = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot W_x}{\pi}};$$

$$d_C \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 7,83 \cdot 10^3}{3,14}} = 43 \text{ мм}.$$

Из условия сборки округляем до стандартного значения $d_C = 48 \text{ мм}$.

Третью задачу (задачи 71...80) следует решать после изучения тем 3.1 и 3.2.

Передаточное число ремённой передачи
$$u_{pn} = \frac{D_2}{D_1 \cdot (1 - \varepsilon)},$$

где: D_1 и D_2 – диаметры ведущего и ведомого шкивов;
 ε - коэффициент скольжения.

Так как $\varepsilon = 0,01 \dots 0,02$ для прорезиненных ремней, то можно принять $u_{pn} \approx \frac{D_2}{D_1}.$

Передаточное число цепной передачи
$$u_{cn} = \frac{z_2}{z_1},$$

где: z_1 и z_2 - числа зубьев ведущей и ведомой звёздочек.

Передаточное число одноступенчатой передачи может быть определено и через кинематические характеристики:
$$u = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2}.$$

Пример 3

Двухступенчатая передача (рис.7) состоит из клиноремённой передачи и одноступенчатого цилиндрического редуктора. Мощность на выходном валу $P_3 = 6,8$ кВт, частота вращения выходного вала $n_3 = 205$ об/мин, передаточное число редуктора $u_p = 2,8$.

Определить:

- передаточное число ремённой передачи и общее передаточное число;
- угловые скорости всех валов;
- общий КПД передачи;
- мощности и вращающие моменты на каждом валу.

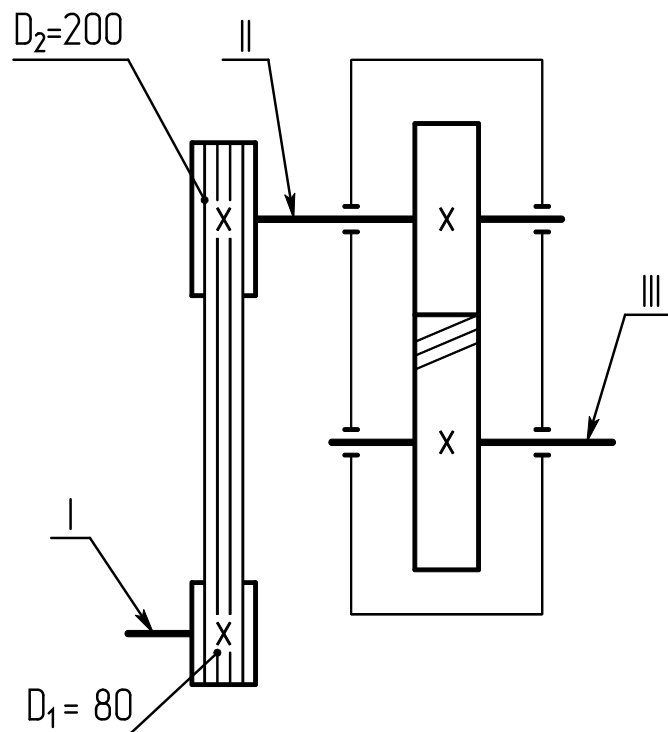


Рис.7

Решение.

1. Определяем передаточное число ремённой передачи:

$$u_{pn} = \frac{D_2}{D_1}; \quad u_{pn} = \frac{200}{80} = 2,5;$$

Общее передаточное число $u_{общ} = u_{pn} \cdot u_p; \quad u_{общ} = 2,5 \cdot 2,8 = 7$

2. Определяем угловые скорости всех валов.

$$2.1. \quad \omega_3 = \frac{\pi \cdot n_3}{30}; \quad \omega_3 = \frac{3,14 \cdot 205}{30} = 21,5 \frac{рад}{с}$$

$$2.2. \text{ Из формулы } u_p = \frac{\omega_2}{\omega_3} \text{ находим } \omega_2 = \omega_3 \cdot u_p; \quad \omega_2 = 21,5 \cdot 2,8 = 60,2 \frac{рад}{с}$$

$$2.3. \text{ Из формулы } u_{общ} = \frac{\omega_1}{\omega_3} \text{ находим } \omega_1 = \omega_3 \cdot u_{общ}; \quad \omega_1 = 21,5 \cdot 7 = 150,5 \frac{рад}{с};$$

3. Определяем общий КПД передачи. $\eta_{общ} = \eta_{zn} \cdot \eta_{нк}^2 \cdot \eta_{pn},$

где:

η_{zn} – КПД цилиндрической зубчатой передачи редуктора;

$\eta_{нк}$ – КПД одной пары подшипников качения одного вала;

η_{pn} – КПД ремённой передачи.

Принимаем: $\eta_{zn} = 0,97; \quad \eta_{нк} = 0,99; \quad \eta_{pn} = 0,95.$

$$\eta_{общ} = 0,97 \cdot 0,99^2 \cdot 0,95 = 0,9.$$

4. Определяем мощности и вращающие моменты на каждом валу.

$$4.1. \quad P_3 = 6,8 кВт = 6,8 \cdot 10^3 Вт.$$

$$M_3 = \frac{P_3}{\omega_3}; \quad M_3 = \frac{6,8 \cdot 10^3}{21,5} = 316,3 Н \cdot м.$$

$$4.2. \quad P_2 = \frac{P_3}{\eta_{zn} \cdot \eta_{нк}}; \quad P_2 = \frac{6,8}{0,97 \cdot 0,99} = 7,08 кВт.$$

$$M_2 = \frac{P_2}{\omega_2}; \quad M_2 = \frac{7,08 \cdot 10^3}{60,2} = 117,6 Н \cdot м. \quad \text{Или}$$

$$M_2 = \frac{M_3}{u_p \cdot \eta_{zn} \cdot \eta_{нк}}; \quad M_2 = \frac{316,3}{2,8 \cdot 0,97 \cdot 0,99} = 117,6 Н \cdot м.$$

$$4.3. \quad P_1 = \frac{P_3}{\eta_{общ}}; \quad P_1 = \frac{6,8}{0,9} = 7,56 кВт.$$

$$M_1 = \frac{P_1}{\omega_1}; \quad M_1 = \frac{7,56 \cdot 10^3}{150,5} = 50,2 Н \cdot м. \quad \text{Или}$$

$$M_1 = \frac{M_3}{u_{общ} \cdot \eta_{общ}}; \quad M_1 = \frac{316,3}{7 \cdot 0,9} = 50,2 Н \cdot м.$$

Средние значения КПД механических передач

Передача	кпд	Передача	кпд
Закрытая зубчатая: цилиндрическая коническая	0,97...0,98 0,96...0,97	Цепная: закрытая открытая	0,95...0,98 0,90...0,95
Ремённая с плоским ремнём	0,96...0,98	Ремённая с клиновыми и поликлиновым ремнём	0,95...0,97

Примечание:

Потери на трение в подшипниках качения оцениваются коэффициентом полезного действия $\eta_{пк} = 0,99$ на два подшипника одного вала.

Четвёртую задачу (задачи 81...90) следует решать после изучения темы 3.5.

В этих задачах требуется подобрать по динамической грузоподъёмности шариковые подшипники.

Рекомендуемая последовательность решения задач:

1. Определить суммарные радиальные реакции опор.
 2. По диаметру вала под подшипниками d_n выбрать подшипник шариковый радиальный однорядный лёгкой серии. Указать его условное обозначение и базовую динамическую грузоподъёмность.
 3. Определить эквивалентную нагрузку.
 4. Определить базовую расчётную долговечность подшипника в часах.
- Полученное значение долговечности должно быть не меньше требуемого по условию задачи, в противном случае выбрать подшипники средней серии, а при необходимости тяжёлой серии и повторить расчёт.
- Базовой называют долговечность, соответствующую 90%-ной надёжности.

$$L_{10h} = a_1 \cdot a_{23} \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n} \cdot \left(\frac{C_r}{R_g} \right)^p,$$

где:

a_1 - коэффициент надёжности.

При 90% -ной надёжности $a_1 = 1$;

при 95%-ной надёжности $a_1 = 0,62$;

при 97%-ной надёжности $a_1 = 0,44$.

a_{23} - коэффициент, учитывающий влияние качеств подшипника и качества его эксплуатации.

$a_{23} = 0,7...0,8$ - для шариковых подшипников, кроме сферических.

C_r - базовая динамическая грузоподъёмность.

p - показатель степени, зависящий от формы контактирующих тел.

Для шариковых подшипников $p = 3$.

Пример 4

Подобрать по динамической грузоподъёмности шариковые радиальные однорядные подшипники для ведомого вала цилиндрической прямозубой передачи (рис. 6, а). Диаметр вала под подшипниками $d_n = 45$ мм, угловая скорость вала $\omega = 30$ рад/с. Реакции опор : $R_{Ay} = 1,68$ кН, $R_{Ax} = 4,67$ кН, $R_{By} = 1,2$ кН, $R_{Bx} = 3,33$ кН. (Числовые значения величин взяты из примера 2). Требуемая долговечность подшипника $L_h = 10000$ часов при 90% - ной надёжности. Температура подшипника $t < 100^\circ \text{C}$, нагрузка с лёгкими толчками.

Решение.

1. Определяем суммарные радиальные реакции опор.

$$R_A = \sqrt{R_{Ax}^2 + R_{Ay}^2}; \quad R_A = \sqrt{4,67^2 + 1,68^2} = 4,87 \text{ кН.}$$

$$R_B = \sqrt{R_{Bx}^2 + R_{By}^2}; \quad R_B = \sqrt{3,33^2 + 1,2^2} = 3,54 \text{ кН.}$$

2. По диаметру вала под подшипниками $d_n = 45$ мм выбираем подшипник шариковый радиальный однорядный лёгкой серии 209 с размерами: $d \times D \times B = 45 \times 85 \times 19$ мм.

Базовая динамическая грузоподъёмность $C_r = 26,2$ кН (Приложение 4 данного пособия).

3. Определяем эквивалентную нагрузку более нагруженного подшипника (опора А).

$$R_\Sigma = R_A \cdot K_k \cdot K_\sigma \cdot K_T,$$

где:

K_k – кинематический коэффициент. $K_k = 1$ при вращении внутреннего кольца.

K_σ – коэффициент безопасности. $K_\sigma = 1,2 \dots 1,3$ при работе с лёгкими толчками.

Принимаем $K_\sigma = 1,2$.

K_T – температурный коэффициент. $K_T = 1$ при температуре $t < 100^\circ \text{C}$.

$$R_\Sigma = 4,87 \cdot 1 \cdot 1,2 \cdot 1 = 5,84 \text{ кН.}$$

4. Определяем расчётную базовую долговечность:

$$L_{10h} = a_1 \cdot a_{23} \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n} \cdot \left(\frac{C_r}{R_\Sigma} \right)^p,$$

где: a_1 – коэффициент надёжности.

Принимаем $a_1 = 1$ при 90%-ной надёжности.

a_{23} – коэффициент, учитывающий влияние качеств подшипника и качества его эксплуатации.

Принимаем $a_{23} = 0,8$ для шариковых подшипников при обычных условиях работы.

n – частота вращения вала.

$$n = \frac{30 \cdot \omega}{\pi}; \quad n = \frac{30 \cdot 30}{3,14} = 287 \text{ об/мин.}$$

p – показатель степени, зависящий от формы контактирующих тел.

$p = 3$ для шариковых подшипников.

$$L_{10h} = 1 \cdot 0,8 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 287} \cdot \left(\frac{26,2}{5,84} \right)^3 = 3780 \text{ час,}$$

что значительно меньше требуемой долговечности $L_h = 10000$ часов.

5. Выбираем подшипник средней серии 309 с размерами $d \times D \times B = 45 \times 100 \times 25$ мм. Динамическая грузоподъёмность $C_r = 37,1$ кН (Приложение 5).

$$L_{10h} = 1 \cdot 0,8 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 287} \cdot \left(\frac{37,1}{5,84} \right)^3 = 12000 \text{ час},$$

что больше требуемой долговечности $L_h = 10000$ часов.

Пятую задачу (задачи 91...100) следует решать после изучения темы 3.7.

В этих задачах требуется подобрать призматическую шпонку и проверить шпоночное соединение на смятие.

Рекомендуемая последовательность решения задач:

1. По заданному диаметру вала выбрать ширину « b », высоту « h » шпонки и глубину паза вала « t_1 ».
2. По длине ступицы « l_{cm} » выбрать из стандартного ряда длину шпонки « l ». Длина шпонки должна быть меньше длины ступицы на (5...10) мм.
3. Определить рабочую длину шпонки « l_p ».
4. В зависимости от материала ступицы и характера нагрузки выбрать допускаемое напряжение смятия.

При спокойной нагрузке и стальной ступице $[\sigma_{cm}] = (100 \dots 150) \text{ МПа}$, при чугунной ступице $[\sigma_{cm}] = (60 \dots 80) \text{ МПа}$.

При значительных колебаниях нагрузки допускаемое напряжение смятия следует уменьшать на 25%, при ударной нагрузке - на (40...50)%.

5. Выполнить проверочный расчёт соединения на смятие.

Если расчётное напряжение превышает допускаемое более чем на 5%, то нужно увеличить длину ступицы, выбрать шпонку большей длины и повторить проверочный расчёт.

Если расчётное напряжение значительно превышает допускаемое, то устанавливают две шпонки, располагая их по окружности через 180° .

Если расчётное напряжение значительно меньше допускаемого, то рекомендуется выбрать шпонку по предыдущему интервалу диаметров вала и повторить проверочный расчёт.

Пример 5.

Подобрать призматическую шпонку со скруглёнными торцами, с помощью которой стальное зубчатое колесо (рис.8) передаёт вращающий момент $M = 400 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{мм}$ валу диаметром $d_c = 48 \text{ мм}$. (Числовые значения величин взяты из примера 2). Принять длину ступицы зубчатого колеса $l_{cm} = (1,2 \dots 1,5) \cdot d_c$ - для кованных заготовок зубчатых колёс.

Соединение неподвижное. Нагрузка с лёгкими толчками. Выполнить проверочный расчёт соединения на смятие.

Решение.

1. По диаметру вала $d_c = 48 \text{ мм}$ выбираем размеры шпонки $b = 14 \text{ мм}$, $h = 9 \text{ мм}$. Глубина паза вала $t_1 = 5,5 \text{ мм}$ (Приложение 7 данного пособия).

2. Определяем длину ступицы:

$$l_{cm} = (1,2 \dots 1,5) \cdot d_c; \quad l_{cm} = (1,2 \dots 1,5) \cdot 48 = (57,6 \dots 72) \text{ мм}.$$

Принимаем $l_{cm} = 70 \text{ мм}$.

По длине ступицы выбираем длину шпонки $l = 63 \text{ мм}$. (Приложение 7).

Обозначение шпонки: Шпонка $14 \times 9 \times 63$ ГОСТ 23360-78.

3. Определяем рабочую длину шпонки $l_p = l - b$; $l_p = 63 - 14 = 49 \text{ мм}$.

4. Принимаем $[\sigma_{см}] = 100 \text{ МПа}$ для среднеуглеродистой стали зубчатого колеса при нагрузке с лёгкими толчками.

5. Выполняем проверочный расчёт на смятие:

$$\sigma_{см} = \frac{2 \cdot M}{d_c \cdot (h - t_1) \cdot l_p}; \quad \sigma_{см} = \frac{2 \cdot 400 \cdot 10^3}{48 \cdot (9 - 5,5) \cdot 49} = 97 \text{ МПа},$$

Что меньше $[\sigma_{см}] = 100 \text{ МПа}$.

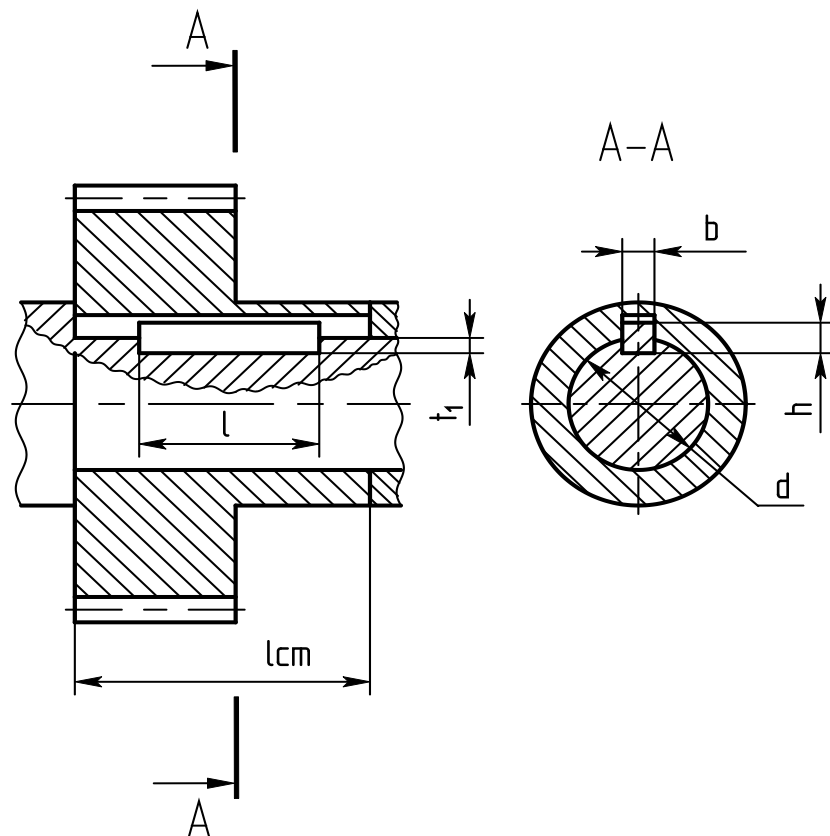


Рис.8

8. ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ И ТЕМАТИКА ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАНИЙ

Экзаменационные вопросы

1. **Основы теоретической механики.** Основные понятия.
2. Статика. Основные понятия и аксиомы статики.
3. Проекция силы на ось
4. Момент силы относительно точки.
5. Пара сил. Момент пары.
6. Связи. Реакции связей.
7. Координаты центра тяжести плоских составных фигур.
8. Плоская система произвольно расположенных сил. Уравнения равновесия.
9. Кинематика. Скорость и ускорения точки при задании движения естественным способом.
10. Вращательное движение твёрдого тела. Угловая скорость и угловое ускорение.
11. Работа и мощность постоянной силы при прямолинейном движении. Коэффициент полезного действия.
12. Работа и мощность при вращательном движении.
13. **Соппротивление материалов.** Основные положения. Допущения и гипотезы.
14. Внутренние силы. Внутренние силовые факторы.
15. Виды нагружений.
16. Растяжение и сжатие. Общие сведения. Продольные силы. Эпюры продольных сил.
17. Растяжение и сжатие. Нормальные напряжения. Эпюры нормальных напряжений
18. Продольные и поперечные деформации при растяжении и сжатии. Закон Гука.
19. Расчёты на прочность при растяжении и сжатии
20. Полярный момент инерции кольца и круга.
21. Осевые моменты инерции прямоугольника, круга и кольца.
22. Кручение. Общие сведения. Крутящий момент. Эпюры крутящих моментов.
23. Напряжение при кручении. Максимальное напряжение.
24. Расчёты на прочность при кручении.
25. Кручение. Угол закручивания. Расчёты на жёсткость.
26. Изгиб. Основные понятия. Поперечная сила. Изгибающий момент.
27. Построение эпюр поперечных сил с учётом сосредоточенных сил.
28. Построение эпюр изгибающих моментов с учётом сосредоточенных сил.
29. Построение эпюр поперечных сил с учётом внешних моментов.
30. Построение эпюр изгибающих моментов с учётом внешних моментов.
31. Нормальные напряжения при изгибе. Максимальное напряжение.
32. Расчёты на прочность при изгибе.
33. Расчёт на прочность бруса круглого поперечного сечения на изгиб с кручением.
34. **Детали механизмов и машин.** Основные положения.
35. Механические передачи. Общие сведения. Классификация.
36. Передаточное число одноступенчатой и многоступенчатой передач.
37. К.П.Д. одноступенчатой и многоступенчатой передач.
38. Взаимосвязь между вращающимися моментами в передаче.
39. Зубчатые передачи. Общие сведения. Классификация.
40. Цилиндрическая зубчатая передача. Терминология. Обозначения.
41. Цилиндрическая прямозубая передача. Диаметральные параметры.
42. Цилиндрическая косозубая передача. Диаметральные параметры.
43. Цилиндрическая шевронная передача. Диаметральные параметры.
44. Силы в цилиндрической прямозубой передаче.
45. Силы в цилиндрической косозубой передаче.
46. Силы в цилиндрической шевронной передаче.
47. Коническая зубчатая передача. Общие сведения. Терминология, обозначения.
48. Передача винт-гайка. Общие сведения. Классификация.

49. Кинематические и силовые соотношения в передаче винт-гайка скольжения.
50. Червячная передача. Терминология. Обозначения.
51. Червяки и их параметры.
52. Червячные колёса и их параметры.
53. Силы в червячной передаче.
54. Ремённая передача. Виды ремённых передач.
55. Плоские ремни ремённых передач
56. Клиновые ремни ремённых передач.
57. Шкивы ремённых передач.
58. Цепные передачи. Общие сведения. Приводные цепи.
59. Силы в цепной передаче.
60. Шпоночные соединения. Общие сведения.
61. Проверочный расчёт ненапряжённых шпоночных соединений на смятие.
62. Шлицевые соединения. Общие сведения. Проверочный расчёт на смятие.
63. Расчёт осей и валов на прочность при изгибе.
64. Расчёт валов на прочность при кручении.
65. Расчёт валов на прочность при изгибе с кручением.
66. Подшипники скольжения. Общие сведения. Область применения.
67. Условные расчёты подшипников скольжения, работающих в режиме полужидкостного трения.
68. Подшипники качения. Классификация. Обозначение.

Практические задания

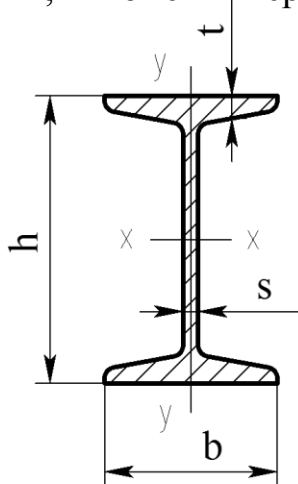
1. Задачи по темам: «Связи. Реакции связей», «Плоская система произвольно расположенных сил.
Уравнения равновесия».
2. Задачи по теме: «Растяжение и сжатие»:
 - построение эпюр продольных сил и нормальных напряжений,
 - расчёты на прочность.
3. Задачи по темам: «Кручение», «Гипотезы прочности...»:
 - построение эпюр крутящих моментов,
 - определение максимального напряжения,
 - расчёты на прочность.
4. Задачи по теме: «Изгиб»:
 - построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов,
 - определение максимального напряжения,
 - расчёты на прочность.
5. Задачи по теме: «Геометрические характеристики поперечных сечений»:
 - определение осевых моментов инерции,
 - определение полярных моментов инерции,
 - определение осевых и полярных моментов сопротивления.
6. Задачи по теме: «Механические передачи»:
 - определение передаточных чисел и КПД,
 - определение диаметральных параметров передач,
 - определение сил в передачах.

9 ПРИЛОЖЕНИЯ

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.

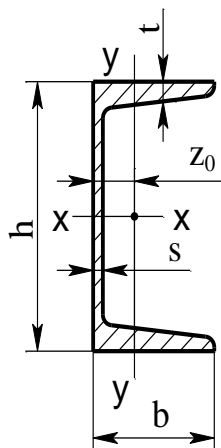


№ двутавра	Размер, мм				Площадь сечения см ²	Справочные величины для осей			
	h	b	s	t		I_x , см ⁴	W_x , см ³	I_y , см ⁴	W_y , см ³
10	100	55	4,5	7,2	12,0	198	39,7	17,9	6,49
12	120	64	4,8	7,3	14,7	350	58,4	27,9	8,72
14	140	73	4,9	7,5	17,4	572	81,7	41,9	11,50
16	160	81	5,0	7,8	20,2	873	109,0	58,6	14,50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

**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 - y до наружной грани стенки.

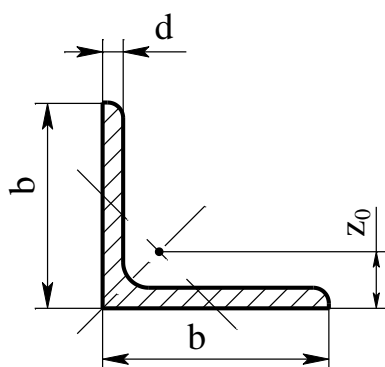


№ швеллера	Размер, мм				Площадь сечения, см ²	Справочные величины для осей				Z ₀ , см
	h	b	s	t		I _x , см ⁴	W _x , см ³	I _y , см ⁴	W _y , см ³	
5	50	32	4,4	7,0	6,16	22,8	9,1	5,61	2,75	1,16
6,5	65	36	4,4	7,2	5,51	48,6	15,0	8,70	3,63	1,24
8	80	40	4,5	7,4	8,98	89,4	22,4	12,80	4,75	1,31
10	100	46	4,5	7,6	10,90	174	34,8	20,40	6,46	1,44
12	120	52	4,8	7,8	13,30	394,4	50,6	31,20	8,52	1,54
14	140	58	4,9	8,1	15,60	491,0	70,2	45,40	11,0	1,67
16	160	64	5,0	8,4	18,10	747,0	93,4	63,30	13,80	1,80
18	180	70	5,1	8,7	20,70	1090,0	121,0	86,00	17,00	1,94
20	200	76	5,2	9,0	23,40	1520,0	152,0	113,0	20,50	2,07
22	220	82	5,4	9,5	26,70	2110,0	192,0	151,0	25,10	2,21
24	240	90	5,6	10,0	30,60	2990,0	242,0	208,0	31,60	2,42
27	270	95	6,0	10,5	35,20	4160,0	308,0	262,0	37,30	2,47
30	300	100	6,5	11,0	40,50	5810,0	387,0	327,0	43,60	2,52
33	330	105	7,0	11,7	46,50	7980,0	484,0	410,0	51,80	2,59
36	360	110	7,5	12,6	53,40	10820,0	601,0	513,0	61,70	2,68
40	400	115	8,0	13,5	61,50	15220,0	761,0	642,0	73,40	2,75

Сталь прокатная, угловая, равнополочная.

Сортамент ГОСТ 8509-72*(извлечение)

Обозначения: b - ширина полки; d - толщина полки; I - момент инерции; z_0 - расстояние от центра тяжести до наружной грани стенки.



профиля	Размеры, мм		Площадь сечения, см ²	Масса 1м, кг	I _x , см ⁴	Z ₀ , см
	b	d				
2	20	4	1,46	1,15	0,50	0,64
2,5	25	4	1,86	1,46	1,03	0,76
2,8	28	4	1,62	1,27	1,16	0,80
3,2	32	4	2,43	1,91	2,26	0,94
3,6	36	4	2,75	2,16	3,29	1,04
4	40	4	3,08	2,42	4,58	1,13
4,5	45	4	3,48	2,73	6,63	1,26
5	50	4	3,89	3,05	9,21	1,38
5,6	56	4	4,38	3,44	13,10	1,52
6,3	63	4	4,96	3,90	18,90	1,69
7	70	5	6,86	5,38	31,90	1,90
7,5	75	6	8,78	6,89	46,60	2,06
8	80	6	9,38	7,36	57,00	2,19
9	90	7	12,30	9,64	94,30	2,47
10	100	8	15,60	12,20	147,00	2,75
11	110	8	17,20	13,30	198,00	3,00
12,5	125	9	22,00	17,30	327,00	3,40
14	140	9	24,70	19,40	466,00	3,78
16	160	10	31,40	24,70	744,00	4,30
18	180	11	38,80	30,50	1216,00	4,85
20	200	12	47,10	37,00	1823,00	5,37

Приложение 4

Шариковые подшипники радиальные однорядные стандартные (ГОСТ 8338-75) лёгкая серия 200

Условное Обозначение подшипника	Размеры, мм			Динамическая грузоподъём- ность C_r , кН	Статическая гру- зоподёмность C_0 , кН
	d	D	B		
200	10	30	9	4,6	2,61
201	12	32	10	4,6	2,65
202	15	35	11	5,85	3,47
203	17	40	12	7,37	4,38
204	20	47	14	9,81	6,18
205	25	52	15	10,8	6,95
206	30	62	16	15,0	10,0
207	35	72	17	19,7	13,6
208	40	80	18	25,1	17,8
209	45	85	19	26,2	17,8
210	50	90	20	27,0	19,0
211	55	100	21	33,3	25,0
212	60	110	22	40,3	30,9
213	65	120	23	44,0	34,0
214	70	125	24	47,9	37,4
215	75	130	25	50,9	41,1
216	80	140	26	55,9	44,5
217	85	150	28	64,1	53,1
218	90	160	30	73,8	60,5

Приложение 5

Шариковые подшипники радиальные однорядные стандартные (ГОСТ 8338-75) средняя серия 300

Условное обозначение подшипника	Размеры, мм			Динамическая грузоподъём- ность C_r , кН	Статическая грузоподъём- ность C_0 , кН
	d	D	B		
300	10	35	11	6,24	3,76
301	12	37	12	7,48	4,64
302	15	42	13	8,73	5,4
303	17	47	14	10,7	6,67
304	20	52	15	12,3	7,79
305	25	62	17	17,3	11,4
306	30	72	19	21,6	14,8
307	35	80	21	25,7	17,6
308	40	90	23	31,3	22,3

Продолжение приложения 5

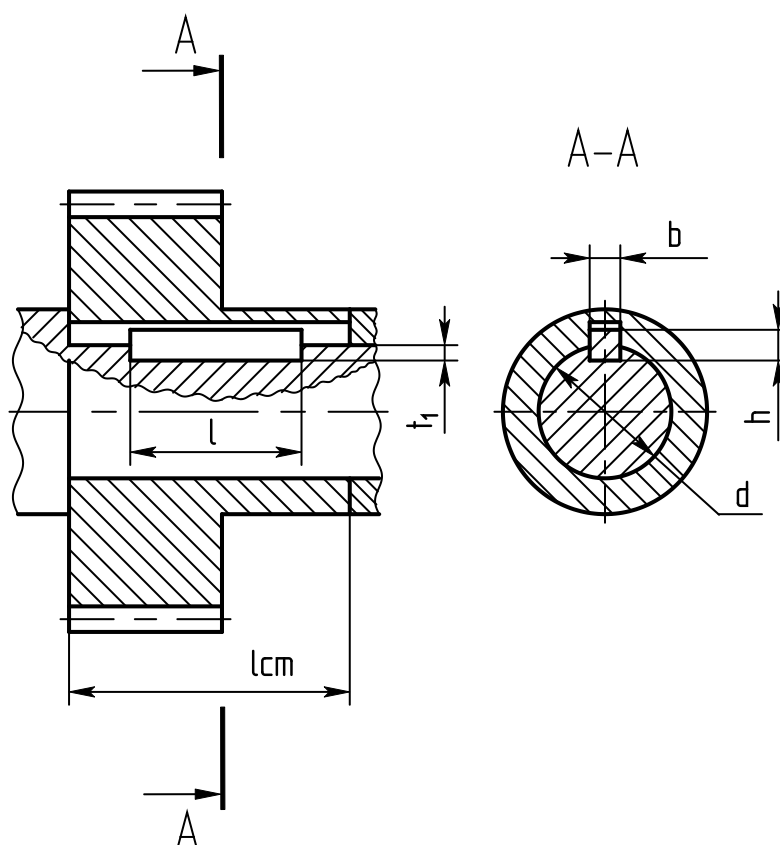
309	45	100	25	37,1	26,2
310	50	110	27	47,6	35,6
311	55	120	29	54,9	41,8
312	60	130	31	62,9	48,4
313	65	140	33	71,3	55,6
314	70	150	35	80,1	63,3
315	75	160	37	87,3	71,4
316	80	170	39	94,6	80,1
317	85	180	41	102	89,2
318	90	190	41	110	99,0

Приложение 6

Шариковые подшипники радиальные однорядные стандартные (ГОСТ 8338-75) Тяжёлая серия

Условное обозначение подшипника	Размеры, мм			Динамическая грузоподъём- ность C_r , кН	Статическая грузоподъём- ность C_0 , кН
	d	D	B		
403	17	62	17	17,5	11,9
405	25	80	21	28,6	20,4
406	30	90	23	36,5	26,7
407	35	100	35	42,8	31,3
408	40	110	27	49,3	36,3
409	45	120	29	59,2	45,5
410	50	130	31	67,2	53,0
411	55	140	33	77,2	62,5
412	60	150	35	83,9	70,0
413	65	160	37	90,8	78,1
414	70	180	42	111	105
415	75	190	45	117	115
416	80	200	48	126	125
417	85	210	52	133	135

Шпонки призматические ГОСТ 23360-78



Диаметр вала d, мм		Сечение шпонки, мм		Глубина паза, мм	
<i>Свыше</i>	<i>до</i>	b	h	вала t ₁	отв. t ₂
12	17	5	5	3	2,3
17	22	6	6	3,5	2,8
22	30	8	7	4	3,3
30	38	10	8	5	3,3
38	44	12	8	5	3,3
44	50	14	9	5,5	3,8
50	58	16	10	6	4,3
58	65	18	11	7	4,4
65	75	20	12	7,5	4,9
75	85	22	14	9	5,4
85	95	25	14	9	5,4
95	110	28	16	10	6,4

Стандартный ряд длин шпонок, мм: 6; 8; 10; 12; 14; 16; 18; 20; 22; 25; 28; 32; 36; 40; 45; 50; 56; 63; 70; 80; 90; 100; 110; 125; 160; 180.

10 ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Для реализации программы учебной дисциплины библиотечный фонд образовательной организации должен иметь печатные и/или электронные образовательные и информационные ресурсы, рекомендуемые для использования в образовательном процессе. В качестве основной литературы образовательная организация использует учебники, учебные пособия, предусмотренные в примерной основной образовательной программе (ПООП)

Основные источники:

1. Вереина Л.И. Краснов М.М. Техническая механика – ОИЦ «Академия», 2021.
2. Эрдеди А.А., Эрдеди Н.А. Детали машин. - М.: Академия, 2021.
3. Эрдеди А.А., Эрдеди Н.А. Теоретическая механика. Сопротивление материалов. - М.: Академия, 2021.

Основные электронные издания:

1. Калентьев, В. А. Техническая механика: учебное пособие для СПО / В. А. Калентьев. — Саратов: Профобразование, 2020. — 110 с. — ISBN 978-5-4488-0904-0. — Текст: электронный // Электронный ресурс цифровой образовательной среды СПО PROФобразование: [сайт]. — URL: <https://profspo.ru/books/98670>

Дополнительные источники:

1. Кузьмина Н.А. Техническая механика: учебное пособие / Н.А. Кузьмина. – Ростов н/Д: Феникс, 2023. – 205 с. ил. – (Среднее профессиональное образование).
2. Мовнин М.С. Основы технической механики [Электронный ресурс]: учебник / М.С. Мовнин, А.Б. Израелит, А.Г. Рубашкин. — Электронные текстовые данные. — СПб: Политехника, 2023. — 289 с.
3. Завистовский В.Э. Техническая механика [Электронный ресурс]: учебное пособие / В.Э. Завистовский, Л.С. Турищев. — Электронные текстовые данные. — Минск: Республиканский институт профессионального образования (РИПО), 2022. — 368 с.

Оператор ЭДО ООО "Компания "Тензор"

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

ПОДПИСАНО	ФГБОУ ВО "РГРТУ", РГРТУ , Качковский Юрий Валентинович, Заведующий методическим кабинетом	17.10.24 13:44 (MSK)	Простая подпись
	ФГБОУ ВО "РГРТУ", РГРТУ , Савельева Ольга Викторовна, Зам. директора РССК «РГРТУ» по УР	17.10.24 15:33 (MSK)	Простая подпись
УТВЕРЖДЕНО	ФГБОУ ВО "РГРТУ", РГРТУ , Цинарева Тамара Алтыбаевна, Директор РССК «РГРТУ»	17.10.24 16:03 (MSK)	Простая подпись