

ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ  
Факультет СПО

## **ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА**

Методические указания к выполнению домашней контрольной  
работы для студентов заочной формы обучения

Специальность 35.02.08 Электротехнические системы в  
агропромышленном комплексе (АПК)

Новосибирск 2023

Составитель: Цой В.В., преподаватель высшей квалификационной категории факультета СПО ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ

Техническая механика: метод. указания к выполнению дом. контр. работы для студ. заоч. формы обуч./Новосиб. гос. аграр. ун-т; ф-т СПО; сост.: В.В. Цой.– Новосибирск, 2023. –56 с.

Методические указания к выполнению домашней контрольной работы по дисциплине ОПЦ.02 Техническая механика предназначены для студентов заочного отделения факультета СПО, обучающихся по специальности 35.02.08 Электротехнические системы в агропромышленном комплексе (АПК).

Методические указания разработаны в соответствии с рабочей программой ОПЦ.02 Техническая механика и ФГОС СПО, утвержденного приказом Минпросвещения России от 27 мая 2022 г. № 368.

Утверждены и рекомендованы к изданию методическим советом факультета СПО (протокол № 1 от 30 августа 2023 г.).

## СОДЕРЖАНИЕ

Пояснительная записка .....	4
1 Структура и содержание учебной дисциплины .....	6
1.1 Объем дисциплины и виды учебной работы .....	6
1.2 Содержание учебной дисциплины .....	6
2 Общие методические указания к выполнению домашней контрольной работы .....	10
3 Требования к структуре и оформлению домашней контрольной работы .....	11
4 Задания для выполнения домашней контрольной работы .....	13
5 Методические указания к решению заданий .....	23
6 Критерии оценивания домашней контрольной работы .....	47
7 Вопросы для подготовки к экзамену .....	48
Список рекомендованной литературы .....	52
Приложение А (обязательное) Образец титульного листа .....	53
Приложение Б (справочное) Стандартный ряд диаметров. Сталь горячекатаная.БАЛКИ ДВУТАВРОВЫЕ .....	54
Приложение В (справочное) Условные графические обозначения некоторых деталей и узлов машин .....	55

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Целью освоения дисциплины «Техническая механика» является ознакомление с современными методами расчета на прочность и жесткость типовых деталей и элементов конструкций с концентраторами напряжений.

Задачами изучения дисциплины «Техническая механика» являются:

- изучение основных элементов теории напряженного и деформированного состояний;
- приобретение навыков построения расчетных схем деталей машин;
- освоение основных принципов расчетов на прочность и жесткость деталей машин и конструкций;
- знакомство с методами расчета на устойчивость;
- изучение принципов расчета деталей машин на прочность при динамическом воздействии.

Изучение дисциплины базируется на знании дисциплин «Математика», «Физика», «Инженерная графика».

**Техническая механика** является общепрофессиональной дисциплиной, устанавливающей базовые знания для освоения профессиональных модулей.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен **уметь**:

- читать кинематические схемы;
- проводить расчет и проектировать детали и сборочные единицы общего назначения;
- проводить сборочно-разборочные работы в соответствии с характером соединений деталей и сборочных единиц;
- определять напряжения в конструкционных элементах;
- производить расчеты элементов конструкций на прочность, жесткость и устойчивость;
- определять передаточное отношение.

В результате освоения дисциплины обучающийся должен **знать**:

- виды машин и механизмов, принцип действия, кинематические и динамические характеристики;
- типы кинематических пар;
- типы соединений деталей и машин;
- основные сборочные единицы и детали;
- характер соединения деталей и сборочных единиц;
- принцип взаимозаменяемости;
- виды движений и преобразующие движения механизмы;
- виды передач;
- их устройство, назначение, преимущества и недостатки, условные обозначения на схемах;
- передаточное отношение и число;

– методику расчета элементов конструкций на прочность, жесткость и устойчивость при различных видах деформации.

Процесс изучения дисциплины *Техническая механика* в соответствии с требованиями ФГОС СПО направлен на формирование следующих общих компетенций (ОК), включающих в себя способность:

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

ОК 04 Эффективно взаимодействовать и работать в коллективе и команде.

# 1 СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

## 1.1 Объем дисциплины и виды учебной работы

Вид учебной работы	Объем часов
<b>Максимальная учебная нагрузка (всего)</b>	78
<b>Обязательная аудиторная учебная нагрузка (всего)</b>	28
в том числе:	
лабораторные работы (если предусмотрено)	–
практические занятия	–
контрольные работы (если предусмотрено)	–
курсовая работа (проект) (если предусмотрено)	–
<b>Самостоятельная работа обучающегося (всего)</b>	44
в том числе:	
самостоятельная работа над курсовой работой (проектом)	–
индивидуальный проект	–
<b>Консультации</b>	–
Форма промежуточной аттестации	Домашняя контрольная работа; экзамен

## 1.2 Содержание учебной дисциплины

### РАЗДЕЛ 1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

#### Тема 1.1 Статика

Роль дисциплины в общепрофессиональной подготовке специалистов. Задачи дисциплины. Основные понятия и аксиомы статики. Связи и реакции связей. Типы связей.

Плоская система сходящихся сил. Равнодействующая сходящихся сил. Условие равновесия плоской системы сходящихся сил. Методика решения задач на равновесие геометрическим способом. Аналитический способ определения равнодействующей. Аналитический способ определения равнодействующей.

Пара сил, момент пары сил. Момент силы относительно точки.

Плоская система произвольно расположенных сил. Теорема Пуансо. Приведение к точке плоской системы произвольно расположенных сил. Условия равновесия плоской системы сил.

Балочные системы. Виды нагрузок и разновидности опор. Методика определения реакций опор и моментов защемления.

Пространственная система сил. Момент силы относительно оси. Пространственная сходящаяся система сил. Произвольная пространственная система сил.

Центр тяжести. Центр тяжести однородных плоских тел.

#### Практические занятия

- Определение равнодействующей геометрическим и аналитическим способами;
- Равновесие плоской системы сходящихся сил;
- Определение реакций в опорах балочных систем под действием сосредоточенных сил и пар сил;
- Определение реакций в опорах балочных систем под действием сосредоточенных сил и распределенных нагрузок;
- Определение координат центра тяжести заданного сечения.

### **Тема 1.2 Кинематика точки**

Основные понятия кинематики. Кинематика точки. Простейшие движения твердого тела. Сложное движение точки. Сложное движение твердого тела.

#### Практические занятия

- Определение кинематических параметров движения тела.

### **Тема 1.3 Динамика**

Основные понятия и аксиомы динамики. Понятие о трении. Движение материальной точки. Метод кинетостатики. Работа. Мощность. Коэффициент полезного действия. Общие теоремы динамики.

#### Практические занятия

- Решение задач с применением метода кинетостатики.

## **РАЗДЕЛ 2. СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ**

### **Тема 2.1 Основные положения сопротивления материалов**

Основные положения. Гипотезы и допущения.

Нагрузки внешние и внутренние. Метод сечений. Напряжения.

### **Тема 2.2 Методика выполнения основных расчетов на прочность при деформации растяжения и сжатия**

Растяжение и сжатие. Внутренние силовые факторы, напряжения. Построение эпюр. Продольные и поперечные деформации. Закон Гука. Механические испытания, механические характеристики. Предельные и допускаемые напряжения. Расчеты на прочность при растяжении и сжатии

#### Практические занятия

- Определение напряжения в конструктивных элементах при растяжении и сжатии;
- Расчет элементов конструкций на прочность при растяжении и сжатии.

### **Тема 2.3 Геометрические характеристики плоских сечений**

Геометрические характеристики плоских сечений. Моменты инерции простейших сечений. Момент инерции относительно параллельных осей.

#### Практические занятия

– Определение геометрических характеристик плоских сечений

### **Тема 2.4 Методика расчетов элементов конструкций на прочность и жесткость при деформации кручения**

Кручение. Внутренние силовые факторы при кручении. Построение эпюр крутящих моментов. Напряжения и деформации при кручении. Расчет элементов конструкций на прочность и жесткость при кручении.

#### Практические занятия

– Построение эпюр поперечных сил и крутящих моментов;  
– Расчет элементов конструкций на прочность и жесткость при кручении.

### **Тема 2.5 Методика расчетов элементов конструкций на прочность и жесткость при изгибе**

Изгиб. Виды изгибов. Внутренние силовые факторы при изгибе. Основные правила построения эпюр.

Нормальные напряжения при изгибе. Методика расчета элементов конструкций на прочность и жесткость при изгибе. Понятие о касательных напряжениях при изгибе.

#### Практические занятия

– Построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов;  
– Расчет элементов конструкций на прочность и жесткость при изгибе.

### **Тема 2.6 Методика расчетов элементов конструкций на устойчивость**

Устойчивость сжатых стержней. Критическая сила, критическое напряжение, гибкость. Методика расчета элементов конструкций на устойчивость.

#### Практические занятия

– Расчет элементов конструкций на устойчивость.

## **РАЗДЕЛ 3. ДЕТАЛИ МАШИН**

### **Тема 3.1 Машины и механизм. Их основные элементы**

Виды машин и механизмов, принцип действия, кинематические и динамические характеристики.

Основные сборочные единицы и детали. Типы кинематических пар.

### **Тема 3.2 Типы соединений деталей и машин**

Неразъемные соединения деталей и их классификация.

Разъемные соединения и их классификация.



Характер соединения деталей и сборочных единиц. Принцип взаимозаменяемости.

#### Практические занятия

- Проведение сборочно-разборочных работ в соответствии с характером соединений деталей и сборочных единиц.

### **Тема 3.3 Валы и оси. Опоры валов и осей. Муфты**

Валы и оси. Назначение и классификация валов и осей. Элементы конструкций, материалы валов и осей. Проектировочный и проверочный расчет.

Подшипники скольжения. Виды разрушения, критерии работоспособности. Расчеты на износостойкость и теплостойкость. Подшипники качения. Маркировка, способы установки. Особенности работы и причины вывода из строя. Подбор подшипников по динамической грузоподъемности. Смазка и уплотнения.

Назначение и классификация муфт. Устройство и принцип действия основных типов муфт. Методика подбора муфт и их расчет.

#### Практические занятия

- Проведение расчетов и проектирование деталей и сборочных единиц общего назначения.

### **Тема 3.4 Виды передач. Устройство, назначение, преимущества и недостатки, условные обозначения на схемах**

Виды движений и преобразующие движения механизмы.

Передачи. Основные кинематические и силовые соотношения в механических передачах.

Фрикционные передачи. Ременные передачи.

Зубчатые передачи.

Червячные передачи.

Цепные передачи.

Передача винт-гайка.

#### Практические занятия

- Чтение кинематических схем. Определение передаточного отношения.

### **Тема 3.5 Общие сведения о редукторах**

Редукторы. Назначение, устройство и классификация.

#### Практические занятия

- Расчет многоступенчатого привода.

## **2 ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ДОМАШНЕЙ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ**

В процессе изучения курса «Техническая механика» обучающиеся должны выполнить домашнюю контрольную работу.

Домашняя контрольная работа является обязательной формой межсессионного контроля самостоятельной работы обучающегося.

Варианты для каждого обучающегося индивидуальные. Номер варианта соответствует последним двум цифрам личного шифра. Например, если номер шифра 121, 105 или 180, то номера вариантов соответственно будут 21, 05, 80.

Изучение теоретического материала рекомендуется проводить в последовательности, указанной в тематическом плане.

Согласно специфике обучения курс изучается самостоятельно по рекомендуемой литературе. Отдельные, наиболее трудные темы преподаватель излагает во время сессии.

К выполнению контрольной работы можно приступать только после изучения соответствующей темы и получения навыка решения задач.

Задачи контрольной работы даны в последовательности тем программы и должны решаться постепенно, по мере изучения материала.

Выполненная домашняя контрольная работа доставляется обучающимися в образовательное учреждение на рецензирование до начала сессии. Обучающиеся, не выполнившие контрольную работу, не допускаются к сдаче экзамена.

### **3 ТРЕБОВАНИЯ К СТРУКТУРЕ И ОФОРМЛЕНИЮ ДОМАШНЕЙ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ**

Домашняя контрольная работа является текстовым учебным документом и должна быть отпечатана при помощи средств компьютерной техники на одной стороне листа белой бумаги формата А4 и аккуратно подшита (сброшюрована) в папку. Выполняется согласно **ЕДИНЫХ ТРЕБОВАНИЙ К ОФОРМЛЕНИЮ ТЕКСТОВЫХ УЧЕБНЫХ ДОКУМЕНТОВ** (<https://nsau.edu.ru/file/1914881>)

Домашняя контрольная работа должна содержать:

- Титульный лист установленного образца (приложение А);
- СОДЕРЖАНИЕ;
- Содержательную часть: решение контрольных заданий;
- СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ;
- ПРИЛОЖЕНИЯ (при наличии).

Содержательную часть работы допускается выполнять в рукописном варианте на миллиметровой бумаге формата А4.

Работа должна быть выполнена аккуратно, четким, разборчивым почерком, решение задач и пояснения к решению пишутся темной пастой (синей, черной, фиолетовой), а рисунки, схемы, графики карандашом.

Каждое задание контрольной работы необходимо начинать с новой страницы.

Текст условия задачи переписывается полностью и поясняется схемой. Из таблиц выписываются исходные данные, рисунки к задачам должны быть выполнены чётко в соответствии с требованиями технической графики. Преобразования формул, уравнений в ходе решения следует производить в общем виде, а уже затем подставлять исходные данные.

Порядок подстановки числовых значений должен соответствовать порядку расположения в формуле буквенных обозначений этих величин. После подстановки исходных значений следует вычислить окончательный или промежуточный результат.

Единицы измерения указываются только в результирующих значениях.

Все задачи и расчеты обязательно должны быть доведены до окончательного числового результата.

Контрольная работа, оформленная небрежно, написанная неразборчивым почерком, а также выполненная по неправильно выбранному варианту, возвращается обучающемуся без проверки с указанием причин возврата для надлежащего оформления. В этом случае обучающийся обязан в кратчайший срок выполнить все требования преподавателя и предоставить

работу на повторное рецензирование, приложив при этом первоначально выполненный вариант.

Для рецензии преподавателя необходимо в конце работы оставить 1 чистый лист.

Список использованных в работе источников должен содержать не менее 5 источников.

## 4 ЗАДАНИЯ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ДОМАШНЕЙ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

### Задание 1

Горизонтальный стержень жестко защемлен одним концом. Определить величины реакций в заделке. Провести проверку правильности решения. Данные взять из таблицы 1.

Таблица 1– Исходные данные к заданию 1

Номер расчетной схемы на рисунке 1										Параметр			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	F, кН	q, кН/м	m, кН·м	a, м
Вариант													
00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	4	2	5	0,3
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	6	3	10	0,2
20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	8	2	15	0,3
30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	10	3	20	0,2
40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	12	2	25	0,3
50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	14	3	30	0,2
60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	16	2	35	0,3
70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	18	3	40	0,2
80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	20	2	45	0,3
90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	22	3	50	0,2

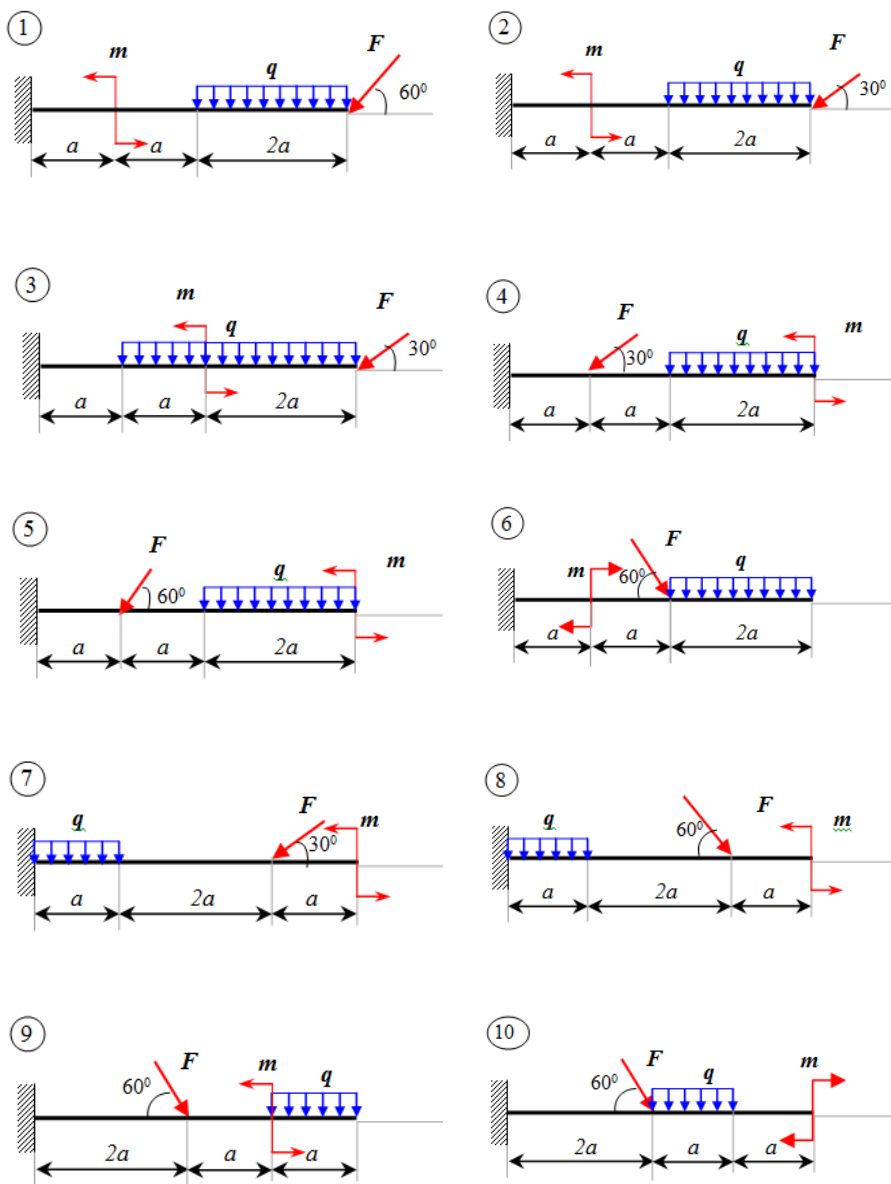


Рисунок 1– Расчетные схемы к заданию 1

## Задание 2

Построить эпюры продольных сил и нормальных напряжений по длине бруса. Определить перемещение свободного конца бруса. Двухступенчатый стальной брус (рисунок 12), нагружен силами  $\vec{F}_1$  и  $\vec{F}_2$ . Площади поперечных сечений  $A_1$  и  $A_2$ .

При расчете принять:

- допускаемое напряжение  $[\sigma] = 160$  МПа,
- модуль упругости  $E = 2 \cdot 10^5$  МПа.

Осевые размеры даны в мм.

Данные для расчета представлены в таблице 2.

Таблица 2– Исходные данные к заданию 2

Номер расчетной схемы на рисунке 2										Параметр			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	F <sub>1</sub> , кН	F <sub>2</sub> , кН	A <sub>1</sub> , см <sup>2</sup>	A <sub>2</sub> , см <sup>2</sup>
Вариант													
00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	40	4	2
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	12	38	5	2,5
20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	14	36	6	3
30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	16	34	7	3,5
40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	18	32	8	4
50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	20	30	9	4,5
60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	22	39	10	5
70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	24	11	11	5,5
80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	26	42	12	6
90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	28	45	13	6,5

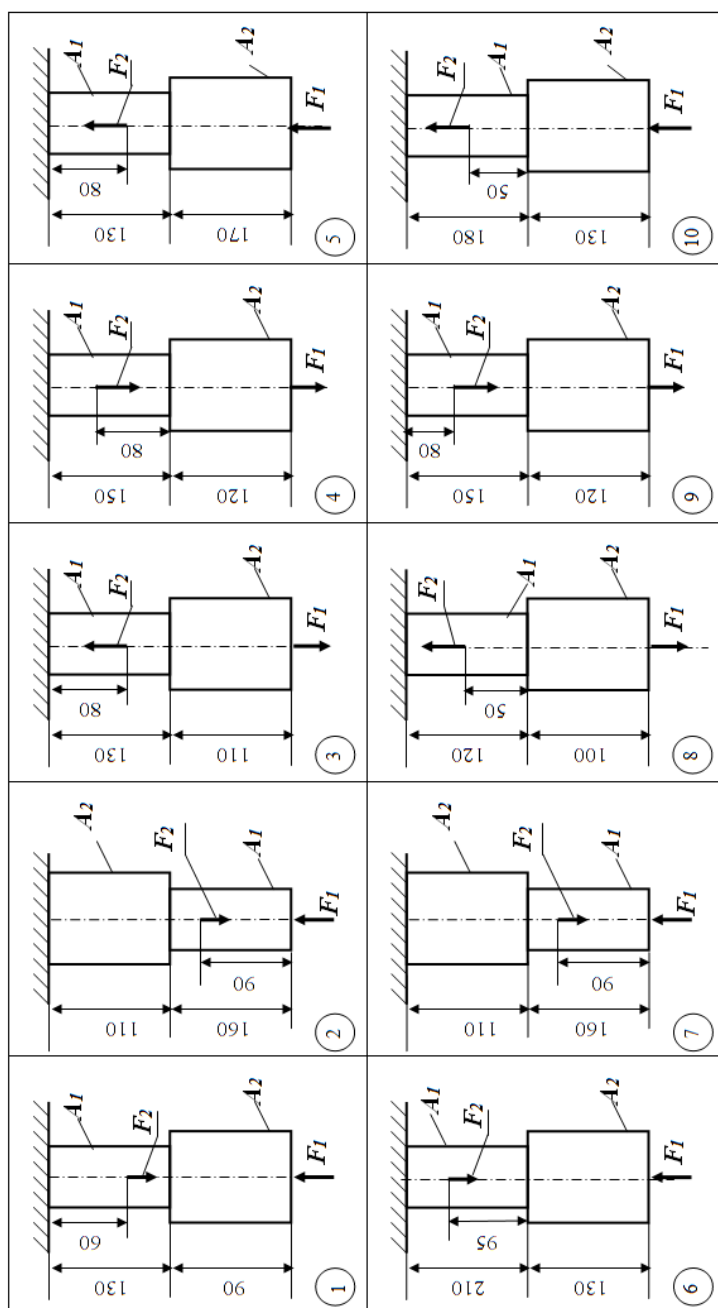


Рисунок 2– Расчетные схемы к заданию 2



### Задание 3

Для стального вала круглого поперечного сечения, вращающегося с угловой скоростью  $\omega$ , определить значения внешних моментов соответствующих передаваемым мощностям, и уравнивающий момент. Построить эпюру крутящих моментов по длине вала. Определить требуемый диаметр вала из расчетов на прочность и жесткость.

При расчете принять:

- допускаемое напряжение кручения  $[\tau_k] = 30 \text{ МПа}$ ;
- допускаемый угол закручивания  $[\varphi_0] = 0,02 \frac{\text{рад}}{\text{м}}$ ;
- модуль упругости при сдвиге  $G = 8 \cdot 10^4 \text{ МПа}$ .

Данные для расчета взять из таблицы 3.

Таблица 3– Исходные данные к заданию 3

Номер расчетной схемы на рисунке 3										Параметр			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Р <sub>1</sub> , кВт	Р <sub>3</sub> , кВт	Р <sub>4</sub> , кВт	ω, рад/с
Вариант													
00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	35	20	15	25
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	150	100	50	45
20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	40	15	25	30
30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	120	80	40	35
40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	70	60	40	25
50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	45	150	70	40
60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	25	60	42	10
70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	100	150	50
80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	75	60	45	15
90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	18	60	42	12

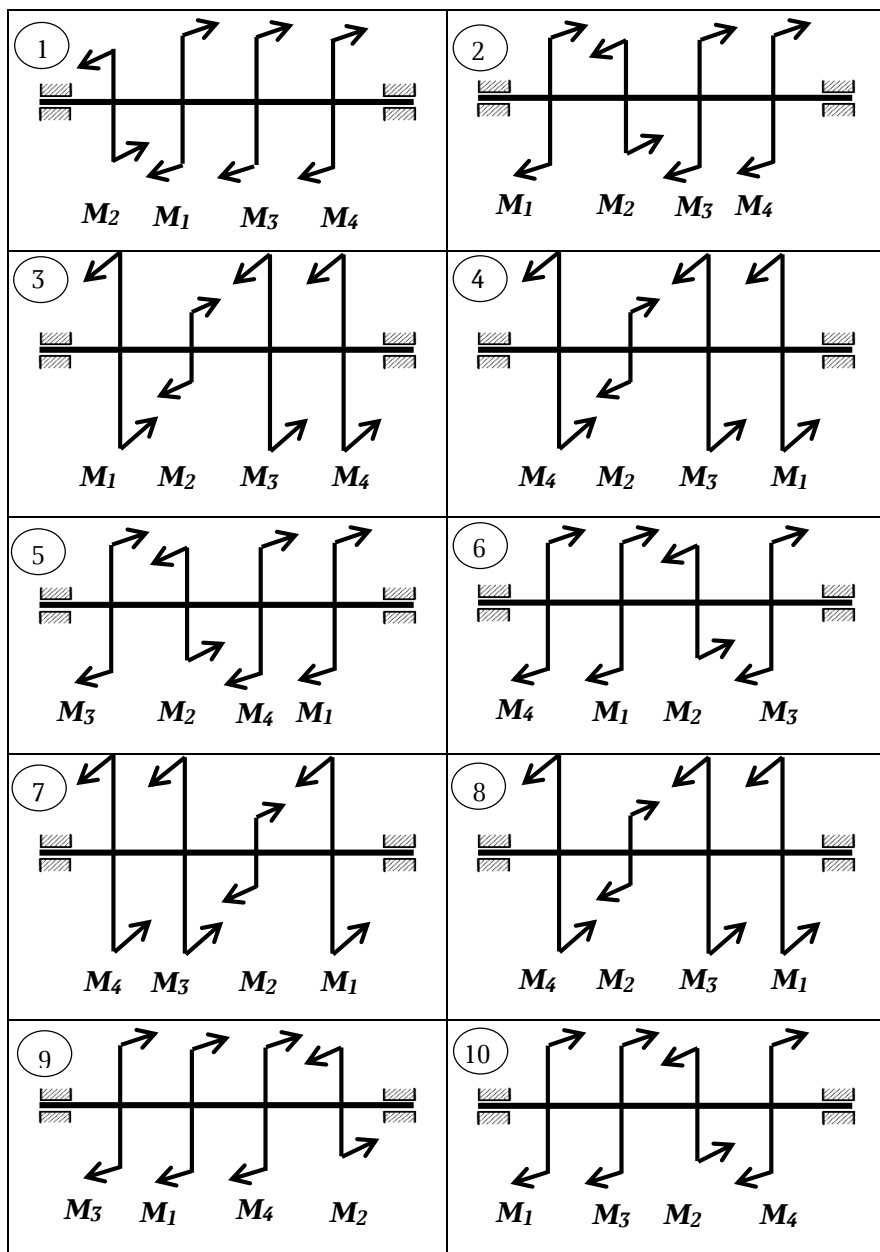


Рисунок 3– Расчетные схемы к заданию 3

## Задание 4

Для двухопорной балки, нагруженной сосредоточенными силами и парой сил с моментом в соответствии с рисунком 23 построить эпюры поперечных сил и изгибающихся моментов. Подобрать поперечное сечение балки в виде двутавра и прямоугольника с соотношением сторон  $h=2b$ . Сравнить массы балок по двум расчетным вариантам.

При расчете принять:

материал – сталь, допускаемое напряжение изгиба  $[\sigma_{\text{и}}] = 160 \text{ МПа}$ .

Данные для расчета взять из таблицы из 4.

Таблица 4 – Исходные данные к заданию 4

Номер расчетной схемы на рисунке 4										Параметр			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	F <sub>1</sub> , кН	F <sub>2</sub> , кН	m, кН·м	a, м
Вариант													
00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	4,4	4	0,2
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	12	6,8	5	0,2
20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	14	8,4	6	0,3
30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	16	10,8	7	0,3
40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	18	12,4	8	0,4
50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	20	14,8	4	0,4
60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	22	16,4	5	0,5
70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	24	18,8	6	0,5
80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	26	20,4	7	0,6
90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	28	22,8	8	0,6

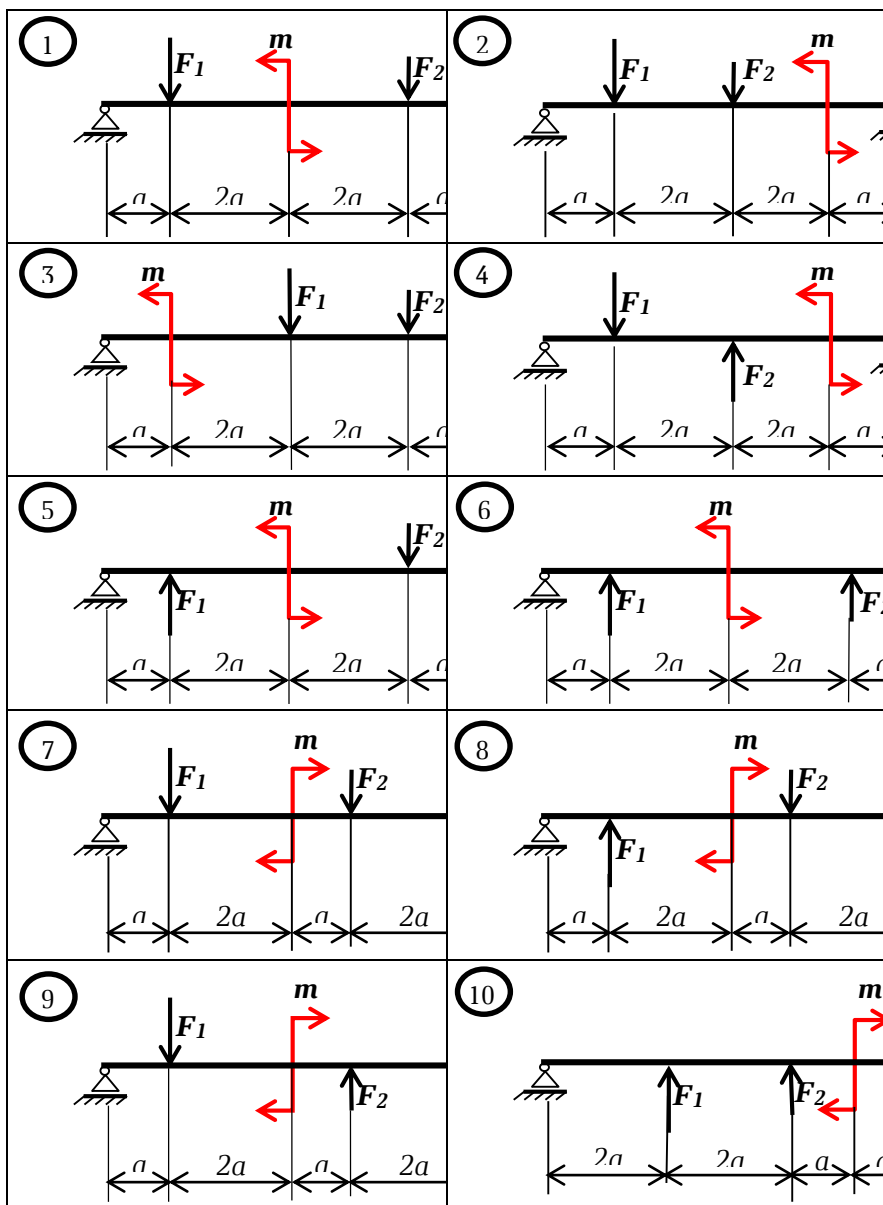


Рисунок 4 – Расчетные схемы к заданию 4

## Задание 5

Определить параметры привода: угловые скорости, вращающие моменты, мощности на валах, передаточные отношения, КПД. Описать назначение, принцип работы, устройство привода.

Данные для расчета взять в таблице 5.

Таблица 5 – Исходные данные к заданию 5

Номер расчетной схемы на рисунке 5										Параметр		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Мощность электродвигателя Р <sub>1</sub> , кВт	Частота вращения электродвигателя, n, об/мин	Передаточное число редуктора u <sub>p</sub>
Вариант												
00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	8,5	950	2,0
10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	3,2	960	3,15
20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	4,0	970	2,5
30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	3,5	750	3,15
40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	3,6	955	2,0
50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	3,0	970	4,0
60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	3,6	1440	20
70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	9,8	935	1,25
80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	3,2	980	2,5
90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	4,6	980	25

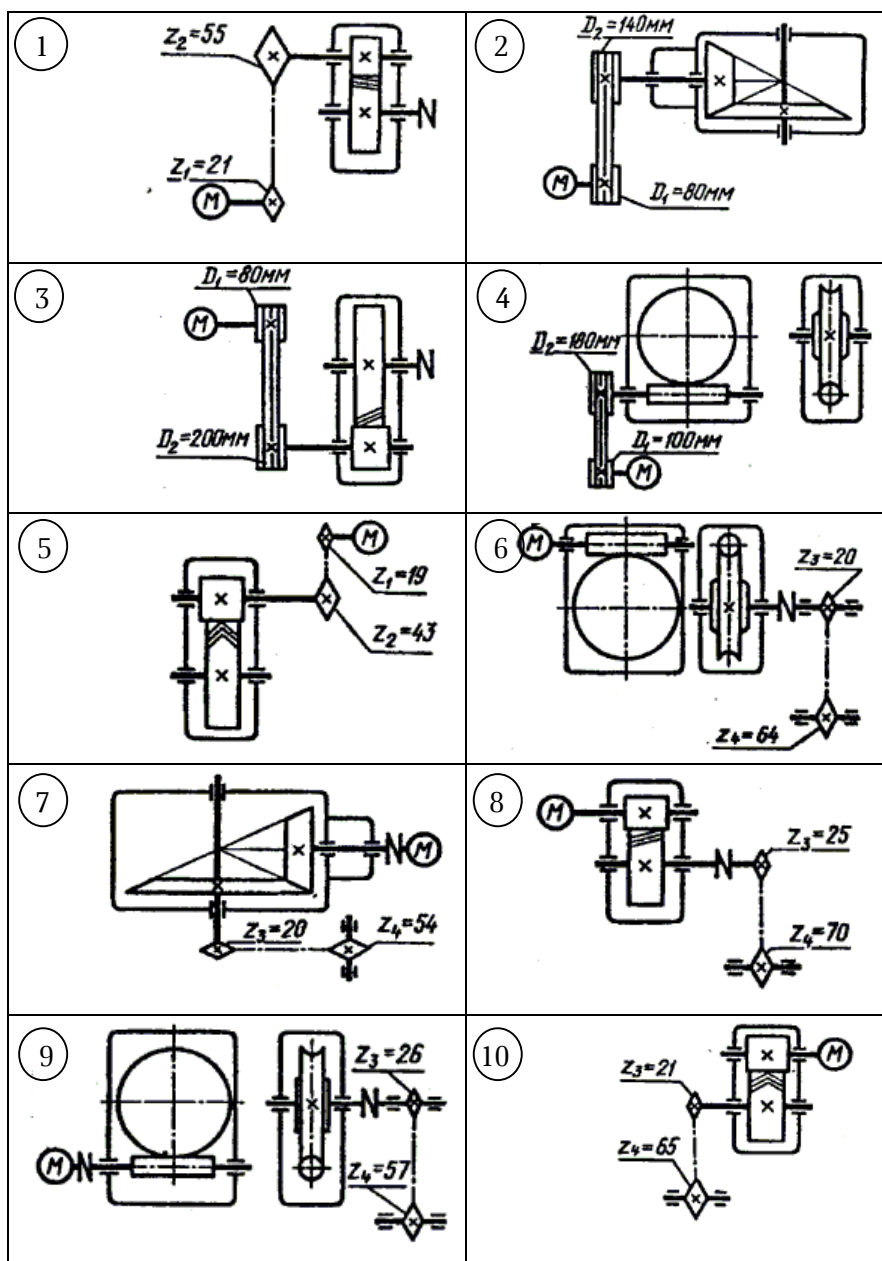


Рисунок 5— Расчетные схемы к заданию 5

## 5 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РЕШЕНИЮ ЗАДАНИЙ

### Методические указания к решению задания 1

По способу приложения нагрузки делятся на сосредоточенные и распределенные.

Если реально передача нагрузки происходит на пренебрежимо малой площадке (в точке), нагрузку называют сосредоточенной.

Часто нагрузка распределена по значительной площадке или линии (давление воды на плотину, давление снега на крышу и т.п.), тогда нагрузку считают распределенной.

В задачах статики для абсолютно твердых тел распределенную нагрузку можно заменить равнодействующей сосредоточенной силой (рисунок 6).

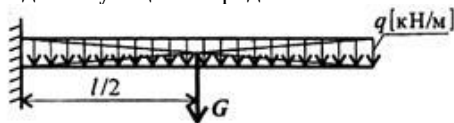


Рисунок 6

$q$  — интенсивность нагрузки;  $l$  — длина стержня;

$G = ql$  — равнодействующая распределенной нагрузки.

Жесткая заделка (защемление) (рисунок 7)

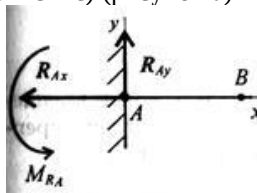


Рисунок 7

Опора не допускает перемещений и поворотов. Заделку заменяют двумя составляющими силы  $R_{Ax}$  и  $R_{Ay}$  и парой с моментом  $M_{RA}$ .

Для определения этих неизвестных удобно использовать систему уравнений в виде

$$\begin{cases} \sum_{k=0}^n F_{kx} = 0; \\ \sum_{k=0}^n F_{ky} = 0; \\ \sum_{k=0}^n M_A(F_k) = 0 \end{cases}$$

Каждое уравнение имеет одну неизвестную величину и решается без подстановок.

Для контроля правильности решений используют дополнительное уравнение моментов относительно любой точки на балке.

### Пример решения задания 1

Одноопорная (защемленная) балка нагружена сосредоточенной силой  $F$ , распределенной нагрузкой  $q$  и парой сил с моментом  $m$  (рисунок 8). Определить реакции заделки.

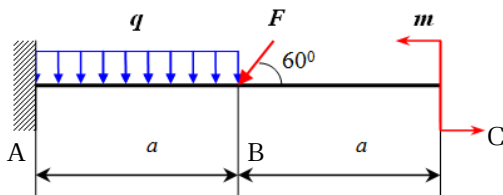


Рисунок 8

Исходные данные:

$$\begin{aligned} F &= 10 \text{ кН} \\ m &= 4 \text{ кНм} \\ q &= 3 \text{ кН/м} \\ a &= 0,8 \text{ м} \end{aligned}$$

### Решение:

В заделке может возникнуть реакция, представляемая двумя составляющими ( $R_{Ay}$ ,  $R_{Ax}$ ), и реактивный момент  $M_A$ . Наносим на схему балки возможные направления реакций, силу  $F$  разложим на составляющие  $F_x$  и  $F_y$ .

Заменяем распределенную нагрузку сосредоточенной:

$$G = ql ; G = 3 \cdot 0,8 = 2,400 \text{ кН.}$$

Сосредоточенную силу помещаем в середине пролета, далее задача решается с сосредоточенными силами (рисунок 9).

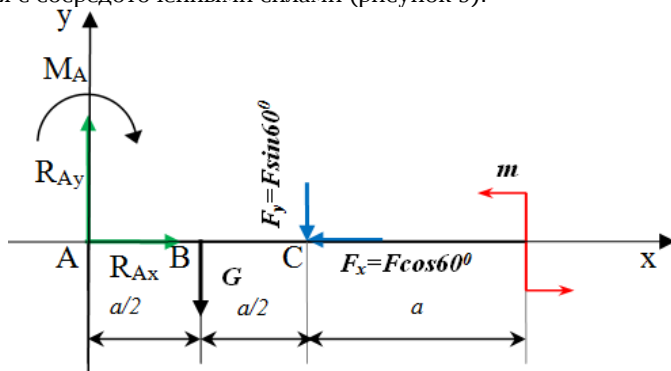


Рисунок 9



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

Используем систему уравнений:

$$\begin{cases} \sum_0^n F_{kx} = 0; \\ \sum_0^n F_{ky} = 0; \\ \sum_0^n M_A(F_k) = 0 \end{cases}$$

Для заданной балки имеем:

$$\sum_0^n F_{kx} = R_{Ax} - F \cos 60^\circ = 0.$$

Откуда  $R_{Ax} = F \cos 60^\circ = 10 \cdot 0,5 = 5,000$  кН.

$$\sum_0^n F_{ky} = R_{Ay} - G - F \sin 60^\circ = 0.$$

Тогда  $R_{Ay} = G + F \sin 60^\circ = 2,4 + 10 \cdot 0,866 = 11,060$  кН.

$$\sum_0^n M_A(F_k) = M_A + G \cdot AB + F \sin 60^\circ \cdot AC - m = 0.$$

$$M_A = -G \cdot AB - F \sin 60^\circ \cdot AC + m = -2,4 \cdot 0,4 - 10 \cdot 0,866 + 4 = -3,888 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Реактивный момент  $M_A$  получился отрицательным, следовательно, его нужно направить в противоположную сторону (рисунок 10).

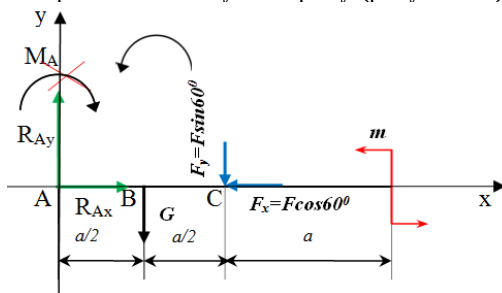


Рисунок 10

Для проверки правильности решения составляем уравнение моментов относительно точки С.

$$\sum_0^n M_C(F_k) = -M_A + R_{Ay} \cdot AC - G \cdot BC - m = 0.$$

$$-3,888 + 11,06 \cdot 0,8 - 2,4 \cdot 0,4 - 4 = 0$$

$$0 = 0.$$

Решение выполнено верно.

## Методические указания к решению задания 2

*Растяжением* или *сжатием* называют вид нагружения, при котором в поперечном сечении бруса возникает только один внутренний силовой фактор – продольная сила.

Продольные силы меняются по длине бруса. При расчетах после определения величин продольных сил по сечениям строится график – эпюра продольных сил.

Условно назначают знак продольной силы.

Если внешняя сила **F** направлена от сечения, то продольная сила **N** – положительная, если внешняя сила **F** направлена к сечению, то сила **N** – отрицательная.

Если продольная сила направлена от сечения, то брус растянут. Растяжение считается положительной деформацией (рисунок 11, а).

Если продольная сила направлена к сечению, то брус сжат. Сжатие считается отрицательной деформацией (рисунок 11, б).



Рисунок 11

Последовательность определения внутренних силовых факторов методом сечения:

Разбиваем брус на участки. *Участок* – это часть бруса одного сечения.

*Границами участков* являются точки приложения внешних сил и места изменения размеров поперечного сечения.

В границах участка мысленно проводим сечение, перпендикулярно оси бруса.

Отбрасываем одну из отсеченных частей (ту, где есть жесткая заделка, чтобы не определять величину реакции), её действие заменяем внутренним силовым фактором, рассматриваем равновесие оставленной части.

Составляем уравнения равновесия для оставленной части и определяем из них значение и направление внутренних силовых факторов.

Продольная сила в поперечном сечении бруса численно равна алгебраической сумме внешних сил, расположенных по одну сторону сечения (имеется в виду, что все силы направлены вдоль оси бруса)

$$\vec{N} = \sum \vec{F}_i$$

Под схемой бруса строим эпюру продольной силы.

Эпюрой продольной силы называется график распределения продольной силы вдоль оси бруса.

Ось эпюры параллельна продольной оси. Величины продольных сил откладывают от оси в заранее выбранном масштабе: положительные – выше нулевой линии, отрицательные – ниже.

Правило контроля: в месте приложения внешней силы на эпюре должен быть скачок на величину приложенной силы.

### **Напряжения при растяжении и сжатии**

В поперечных сечениях при растяжении-сжатии имеют место только нормальные напряжения  $\sigma$ , которые определяются отношением внутренней силы  $N$  к площади  $A$  соответствующего поперечного сечения бруса:

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

Знак напряжений зависит от знака внутренней силы на рассматриваемом участке бруса.

При определении напряжений брус разбивают на участки нагружений, в пределах которых продольные силы не изменяются, и учитывают места изменений площади поперечных сечений.

Для анализа состояния деталей строят эпюру напряжений. Эпюра позволяет определить наиболее напряженный участок бруса.

### **Условие прочности при растяжении и сжатии**

Для обеспечения необходимой прочности элементов и конструкций напряжения не должны превышать допустимых значений:

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

где  $[\sigma]$  – допускаемое напряжение.

### **Перемещения поперечных сечений бруса при растяжении и сжатии**

Под действием сил брус удлиняется (укорачивается) на некоторую величину  $\Delta l$ , называемую абсолютным удлинением:

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

где  $l$  – начальная длина, мм;

$E$  – модуль упругости материала, МПа;

$N$  – продольная сила, Н;

$A$  – площадь поперечного сечения, мм<sup>2</sup>;

$\sigma$  – нормальное напряжение, МПа.

Модуль упругости  $E$  характеризует жесткость материала, т. е. его способность сопротивляться упругим деформациям растяжения или сжатия.

### Пример выполнения задания 2

Построить эпюры продольных сил и нормальных напряжений по длине бруса. Определить перемещение свободного конца бруса. Двухступенчатый стальной брус (рисунок 12), нагружен силами  $\vec{F}_1$  и  $\vec{F}_2$ . Площади поперечных сечений  $A_1$  и  $A_2$ .

При расчетах принять допускаемое напряжение  $[\sigma] = 160$  МПа, модуль упругости  $E = 2 \cdot 10^5$  МПа. Осевые размеры даны в мм.

Исходные данные:

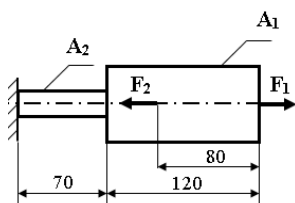


Рисунок 12

$$\begin{aligned} F_1 &= 6 \text{ кН} \\ F_2 &= 24 \text{ кН} \\ A_1 &= 1,5 \text{ см}^2 \\ A_2 &= 0,8 \text{ см}^2 \\ [\sigma] &= 160 \text{ МПа} \\ E &= 2 \cdot 10^5 \text{ МПа} \end{aligned}$$

**Решение:**

#### 2. 1 Построение эпюры продольных сил

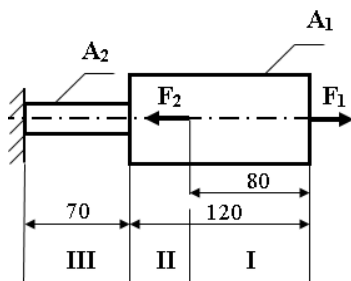


Рисунок 13

2.1.1 Разбиваем брус на участки (I, II, III). Границами участков являются переходные по размерам поперечные сечения бруса и сечения, в которых приложена внешняя нагрузка — сосредоточенные силы  $\vec{F}_1$ ,  $\vec{F}_2$ . Разбивка бруса на участки ведётся со свободного конца бруса, чтобы не определять величины реакций в заделке. Продольные силы рассматриваются с учётом независимости их действия (рисунок 13).

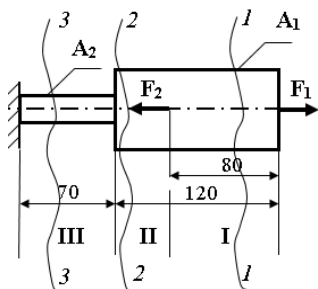
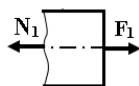


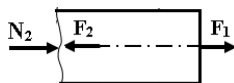
Рисунок 14

2.1.2 Для каждого участка, начиная с противоположного от защемления конца бруса, применяя метод сечений (рисунок 14), определяем ординаты эпюры  $N$  на участках бруса (рисунок 15):



#### Участок I:

Определяем силу  $N_1$  сопротивления первого участка растяжению. Равновесие обеспечивается равенством  $-N_1 + F_1 = 0$ ; Откуда  $N_1 = F_1 = 6 \text{ кН}$  — продольная сила положительная, участок растянут.



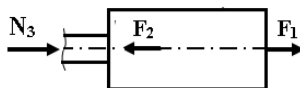
#### Участок II:

Сила сопротивления второго участка сжатию

$$N_2 + F_1 - F_2 = 0;$$

$$N_2 = F_2 - F_1 = 24 - 6 = 18 \text{ кН}$$

— продольная сила отрицательная, участок сжат.



#### Участок III:

$N_3 = N_2 = 18 \text{ кН}$  — продольная сила отрицательная, участок сжат.

Полученное значение  $N_3$  равно реакции в заделке.

Рисунок 15

## 2.2 Построение эпюры нормальных напряжений

2.2.1 Определяем нормальные напряжения на каждом участке

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{A_1} = \frac{6 \cdot 10^3 \text{ Н}}{1,5 \cdot 10^2 \text{ мм}^2} = 40 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2} = 40 \text{ МПа}$$

$$\sigma_2 = \frac{N_2}{A_1} = \frac{-18 \cdot 10^3}{1,5 \cdot 10^2} = -120 \text{ МПа}$$

$$\sigma_3 = \frac{N_3}{A_2} = \frac{-18 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 10^2} = -225 \text{ МПа.}$$

По результатам расчетов строим эпюры продольных сил и нормальных напряжений (рисунок 16):

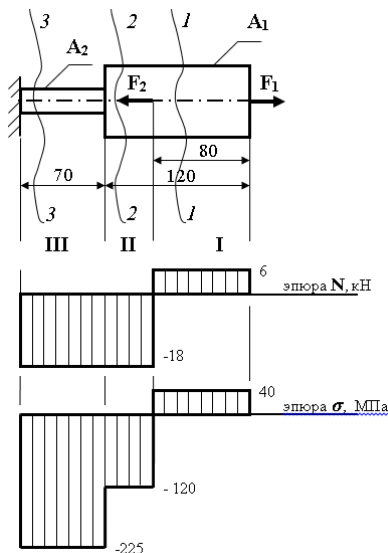


Рисунок 16

## 2.3 Анализ эпюры

Анализируем эпюру. Первый участок прочен

$\sigma_1 < [\sigma]$ , 40 МПа < 160 МПа, но не экономичен, так как

$$\frac{[\sigma] - \sigma_1}{[\sigma]} = \frac{|160 - 40|}{160} \cdot 100\% = 75\% \gg 5\%.$$

На втором участке  $\sigma_2 < [\sigma]$ , 120 МПа < 160 МПа — прочность обеспечена, но участок не экономичен, поскольку

$$\frac{[\sigma] - \sigma_1}{[\sigma]} = \frac{|160 - 120|}{160} \cdot 100\% = 25\% \gg 5\%$$

$\sigma_3 = 225 \text{ МПа} \geq [\sigma]$  — третий участок не прочен, может произойти разрушение.

## 2.4 Определение деформаций бруса

2.4.1 Определяем абсолютные удлинения каждого участка:

$$\Delta l_1 = \frac{\sigma_1 \cdot l_1}{E} = \frac{40 \cdot 80}{2 \cdot 10^5} = 16 \cdot 10^{-3} \text{ мм}$$

$$\Delta l_2 = \frac{\sigma_2 \cdot l_2}{E} = \frac{-120 \cdot 40}{2 \cdot 10^5} = -24 \cdot 10^{-3} \text{ мм}$$

$$\Delta l_3 = \frac{\sigma_3 \cdot l_3}{E} = \frac{-225 \cdot 70}{2 \cdot 10^5} = -78,75 \cdot 10^{-3} \text{ мм}$$

2.4.2 Определяем перемещение свободного конца бруса:

$$\Delta l_{\Sigma} = \Delta l_1 + \Delta l_2 + \Delta l_3 = (16 - 24 - 78,75) \cdot 10^{-3} = -86,75 \cdot 10^{-3} \text{ мм}$$

**Вывод:** брус сжат на 86,75 мкм

### Методические указания к решению задания 3

**Кручением** называют такой вид деформации, при котором в его поперечном сечении возникает только крутящий момент  $M_k$ .

Для определения крутящего момента в поперечном сечении вала применяют метод сечения.

Крутящий момент в поперечном сечении вала равен алгебраической сумме моментов внешних сил, действующих на отсеченную часть вала в плоскости перпендикулярной оси вала и приложенных по одну сторону от рассматриваемого сечения.

Крутящие моменты могут меняться вдоль оси бруса. После определения величин моментов по сечениям строим график-эпюру крутящих моментов вдоль оси бруса.

При вычислении крутящих моментов принимаем **правило знаков:**

Крутящий момент считаем положительным, если моменты внешних пар сил направлены по часовой стрелке, в этом случае момент внутренних сил упругости направлен против часовой стрелки (рисунок 17).

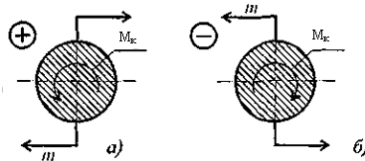


Рисунок 17– Правило знаков при определении знака крутящего момента

Порядок построения эпюры моментов аналогичен построению эпюр продольных сил. Ось эпюры параллельна оси бруса, значения моментов откладывают от оси вверх или вниз, масштаб построения выдерживать обязательно.

Максимальное напряжение при кручении возникает на поверхности. Расчет максимального напряжения на поверхности круглого бруса проводят по формуле

$$\tau_k^{max} = \frac{M_k}{W_p}$$

где  $W_p$  – момент сопротивления при кручении, мм<sup>3</sup>.

Для круглого сечения

$$W_p = \frac{\pi d^3}{16}.$$

### **Расчеты на прочность и жесткость при кручении**

Разрушение бруса при кручении происходит с поверхности, при расчете на прочность используют условие прочности

$$\tau_k^{max} = \frac{M_k}{W_p} \leq [\tau_k]$$

где  $[\tau_k]$  – допускаемое напряжение при кручении.

При расчете на жесткость определяется деформация и сравнивается с допускаемой

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

где  $\varphi_0$  – относительный угол закручивания;

$[\varphi_0] \approx 1 \frac{\text{град}}{\text{м}} = 0,02 \frac{\text{рад}}{\text{м}}$  – допускаемый угол закручивания, МПа;

$G$  – модуль упругости при сдвиге, МПа;

$J_p$  – полярный момент инерции сечения, мм<sup>4</sup>.

Для круглого сечения

$$J_p = \frac{\pi d^4}{32}.$$

Из условия прочности и жесткости можно определить размеры поперечного сечения. Окончательные значения диаметров округляются до ближайших стандартных по ГОСТ 6636-69 (см. приложение Б)

Для обеспечения прочности и жесткости одновременно из двух найденных значений диаметров выбирают большее.

### **Пример выполнения задания 3**

Для стального вала круглого поперечного сечения (рисунок 18), вращающегося с угловой скоростью  $\omega$ , определить значения внешних моментов соответствующих передаваемым мощностям, и уравновешивающий момент.

Построить эпюру крутящих моментов по длине вала. Определить требуемый диаметр вала из расчетов на прочность и жесткость.

При расчете принять:

- допускаемое напряжение кручения  $[\tau_k] = 30 \text{ МПа}$ ;
- допускаемый угол закручивания  $[\varphi_0] = 0,02 \frac{\text{рад}}{\text{м}}$ ;
- модуль упругости при сдвиге  $G = 8 \cdot 10^4 \text{ МПа}$ .



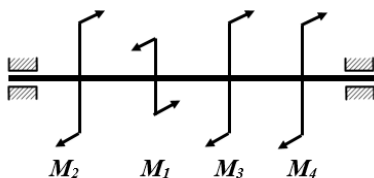


Рисунок 18

Исходные данные:

$$P_2 = 8 \text{ кВт}$$

$$P_3 = 3 \text{ кВт}$$

$$P_4 = 1 \text{ кВт}$$

$$\omega = 25 \frac{\text{рад}}{\text{с}}$$

**Решение:**

### 3.1 Определение скручивающих моментов

Определяем величины скручивающих моментов  $M_2$ ,  $M_3$ ,  $M_4$ :

$$M_2 = \frac{P_2}{\omega} = \frac{8 \cdot 10^3}{25} = 320 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_3 = \frac{P_3}{\omega} = \frac{3 \cdot 10^3}{25} = 120 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_4 = \frac{P_4}{\omega} = \frac{1 \cdot 10^3}{25} = 40 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Найдем уравновешивающий момент  $M_1$ :

$$M_1 = M_2 + M_3 + M_4;$$

$$M_1 = 320 + 120 + 40 = 480 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

### 3.2 Построение эпюры крутящих моментов

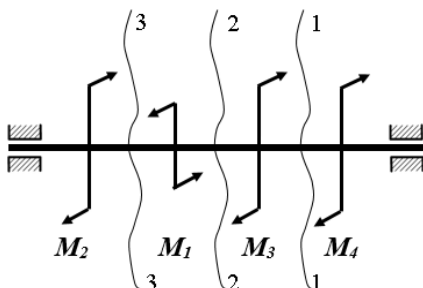
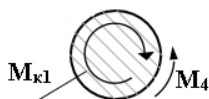


Рисунок 19

3.2.1 Разбиваем вал на участки (рисунок 19). Вал имеет три участка, границами которых являются сечения, в которых приложены внешние моменты. В пределах каждого участка значение крутящего момента сохраняется постоянным.

Определяем крутящие моменты в поперечных сечениях вала с помощью метода сечений.

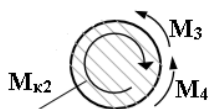


### Участок I:

Сечение 1-1:

$$-M_4 + M_{k1} = 0;$$

$M_{k1} = M_4 = 40 \text{ Н} \cdot \text{м}$  — крутящий момент отрицательный.

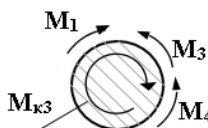


### Участок II:

Сечение 2-2:

$$-M_4 - M_3 + M_{k2} = 0;$$

$M_{k2} = M_4 + M_3 = 40 + 120 = 160 \text{ Н} \cdot \text{м}$  — крутящий момент отрицательный.



### Участок III:

Сечение 3-3:  $-M_4 - M_3 + M_1 - M_{k3} = 0;$

$M_{k3} = -M_4 - M_3 + M_1 = -40 - 120 + 480 = 320 \text{ Н} \cdot \text{м}$  — крутящий момент положительный.

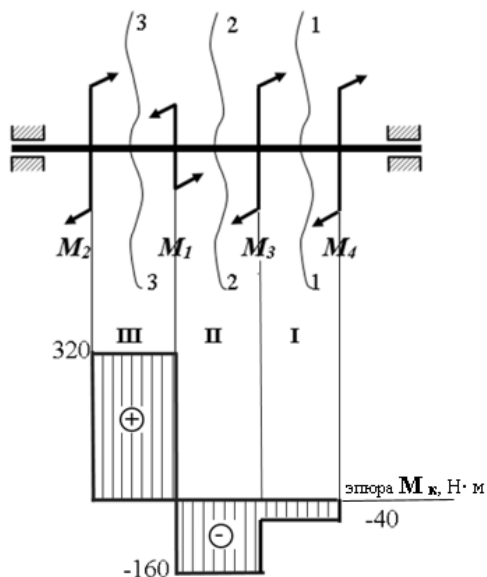


Рисунок 20

### 3.2.2 Строим эпюру крутящих моментов.

Для этого:

- выбираем соответствующий масштаб;
- откладываем значения моментов;
- штрихуем эпюру;
- обводим по контуру;
- записываем значения моментов (рисунок 20).

## 3.3 Определение диаметра вала из расчетов на прочность и жесткость

Определяем диаметр вала для опасного участка, из условий прочности и

жесткости. Опасным сечением является участок III.  $M_K^{max} = 320 \text{ Н} \cdot \text{м}$ .

### 3.3.1 Определение диаметра вала из условия прочности

Из условия прочности

$$\tau_K^{max} = \frac{M_K}{W_p} \leq [\tau_K]$$

найдем момент сопротивления при кручении:

$$W_p \geq \frac{M_K}{[\tau_K]} \geq \frac{320 \cdot 10^3}{30} = 10,67 \cdot 10^3 \text{ мм}^3.$$

Учитывая, что момент сопротивления при кручении для круглого сечения определяется по формуле

$$W_p = \frac{\pi d^3}{16},$$

определим диаметр вала:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{16 \cdot W_p}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 10,67 \cdot 10^3}{3,14}} = 37,9 \text{ мм}.$$

### 3.3.2 Определение диаметра вала из условия жесткости

Из условия жесткости  $\varphi_0 = \frac{M_K}{GJ_p} \leq [\varphi_0]$  определим полярный момент инерции сечения

$$J_p \geq \frac{M_K}{G[\varphi_0]} = \frac{320 \cdot 10^3}{8 \cdot 10^4 \cdot 0,02 \cdot 10^{-3}} = 20 \cdot 10^4 \text{ мм}^4.$$

Учитывая, что момент сопротивления при кручении для круглого сечения определяется по формуле

$$J_p = \frac{\pi d^4}{32},$$

найдем диаметр вала:

$$d = \sqrt[4]{\frac{32 \cdot J_p}{\pi}} = \sqrt[4]{\frac{32 \cdot 20 \cdot 10^4}{3,14}} = 37,8 \text{ мм}.$$

Для обеспечения прочности и жесткости одновременно из двух найденных диаметров выбираем большее. Требуемый диаметр вала получился больше из расчета на прочность, поэтому его принимаем как окончательный, округлив до ближайшего стандартного по ГОСТ6636-69.

Окончательно принимаем  $d = 38$  мм.

#### Методические указания к решению задания 4

**Изгибом** называется такой вид нагружения, при котором в поперечном сечении бруса возникает внутренний силовой фактор – **изгибающий момент**.

При поперечном изгибе в сечении возникает изгибающий момент и поперечная сила.

Изгибающий момент в произвольном сечении балки численно равен алгебраической сумме моментов всех внешних сил, приложенных к отсеченной части, относительно рассматриваемого сечения.

Поперечная сила в произвольном сечении балки численно равна алгебраической сумме проекций всех внешних сил, действующих на отсеченной части, на соответствующую ось.

#### Знаки поперечных сил и изгибающих моментов

**Если внешняя сила  $F$**  стремится повернуть рассматриваемую часть балки по часовой стрелке, то поперечная сила будет положительной; **если внешняя сила  $F$**  стремится повернуть рассматриваемую часть балки против часовой стрелки, то поперечная сила будет отрицательной (рисунок 21).



Рисунок 21

**Если внешняя нагрузка** стремится изогнуть балку выпуклостью вниз, то изгибающий момент будет положительный, **если внешняя нагрузка** стремится изогнуть балку выпуклостью вверх, то изгибающий момент будет отрицательным (рисунок 22)

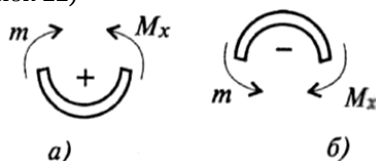


Рисунок 22

#### Последовательность решения задачи на построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов

1. Освобождаем балку от опор, а действие опор заменяем реакциями опор.
2. Определяем реакции опор балки (по двум уравнениям моментов: одно – относительно левой опоры, второе – относительно правой), а затем обязательно проверить правильность решения по уравнению проекций на ось, перпендикулярную балке;
3. Определяем характерные сечения балки (сечения балки, где приложены сосредоточенные силы и моменты, включая опорные сечения).
4. Строим эпюру поперечных сил, для чего вычисляем значения поперечных сил в характерных сечениях.
5. Строим эпюру изгибающих моментов, для чего определяем значение изгибающих моментов в характерных сечениях.

### Условие прочности при изгибе

$$\sigma_{\text{и}}^{\text{max}} = \frac{M_{\text{и}}}{W_{\text{x}}} \leq [\sigma_{\text{и}}];$$

где  $[\sigma_{\text{и}}]$  - допускаемое напряжение;

$W_{\text{x}}$  - момент сопротивления при изгибе или осевой момент сопротивления, мм<sup>3</sup>.

$W_{\text{x}}$  характеризует влияние формы и размеров сечения на прочность при изгибе.

### Пример выполнения задания 4

Для двухопорной балки, нагруженной сосредоточенными силами и парой сил с моментом в соответствии с рисунком 23 построить эпюры поперечных сил и изгибающихся моментов. Подобрать поперечное сечение балки в виде двутавра и прямоугольника с соотношением сторон  $h=2b$ . Сравнить массы балок по двум расчетным вариантам.

При расчете принять: материал – сталь, допускаемое напряжение изгиба  $[\sigma_{\text{и}}] = 160$  МПа.

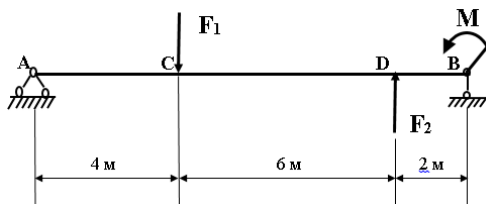


Рисунок 23

Исходные данные:

$$F_1 = 30 \text{ кН}$$

$$F_2 = 20 \text{ кН}$$

$$M = 30 \text{ кН}$$

**Решение:**

#### 4.1 Определение реакций опор.

Наносим на схему балки возможные направления реакций опор (рисунок 24)

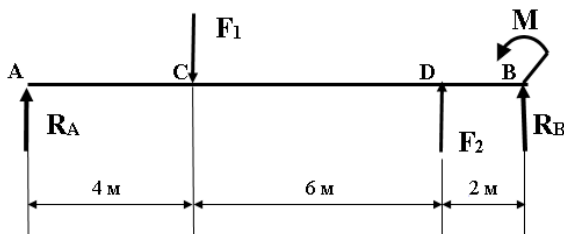


Рисунок 24

Для определения реакций опор составляем уравнения равновесия:

$$\begin{cases} \sum m_A = 0 \\ \sum m_B = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} F_1 \cdot AC - F_2 \cdot AD - M - R_B \cdot AB = 0 \\ R_A \cdot AB - F_1 \cdot CB - M + F_2 \cdot DB = 0 \end{cases} \quad \begin{matrix} (1) \\ (2) \end{matrix}$$

Из уравнения (1) имеем

$$R_B \cdot AB = F_1 \cdot AC - F_2 \cdot AD - M;$$

$$R_B = \frac{F_1 \cdot AC - F_2 \cdot AD - M}{AB} = \frac{30 \cdot 4 - 20 \cdot 10 - 40}{12} = -10 \text{ кН}.$$

Из уравнения (2) имеем

$$R_A \cdot AB = F_1 \cdot CB + M - F_2 \cdot DB;$$

$$R_A = \frac{F_1 \cdot CB + M - F_2 \cdot DB}{AB} = \frac{30 \cdot 8 + 40 - 20 \cdot 2}{12} = 20 \text{ кН}.$$

Значение реакции  $R_B$  отрицательное, следовательно, она имеет направление, противоположное выбранному. Изменяем направление на схеме (рисунок 25):

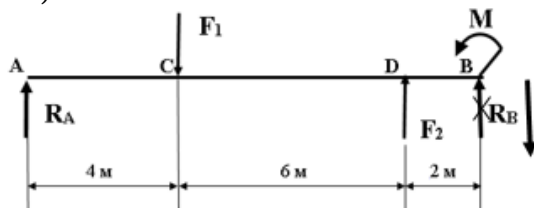


Рисунок 25

Для проверки правильности решения вычисляем сумму проекций всех сил на вертикальную ось:

$$R_A - F_1 + F_2 - R_B = 20 - 30 + 20 - 10 = 0$$

— реакции определены верно.

## 4.2 Построение эпюры поперечных сил

Разобьем балку на участки нагружения (рисунок 26). Границами участков являются сечения, в которых приложены внешние нагрузки.

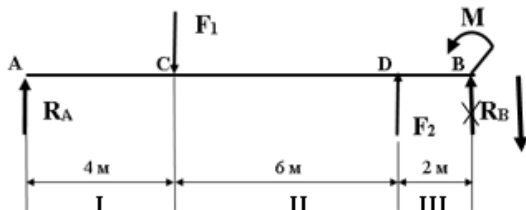


Рисунок 26

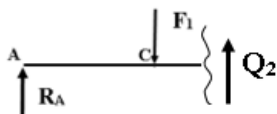


### Участок I

$$R_A - Q_1 = 0;$$

$$Q_1 = R_A = 20 \text{ кН.}$$

$Q_1$  — поперечная сила положительная.

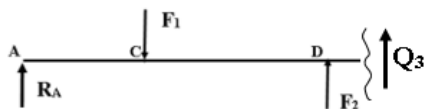


### Участок II

$$R_A - F_1 + Q_2 = 0;$$

$$Q_2 = -R_A + F_1 = -20 + 30 = \\ = 10 \text{ кН}$$

$Q_2$  — поперечная сила отрицательная.



### Участок III

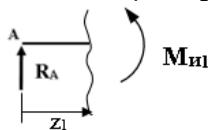
$$R_A - F_1 + F_2 - Q_3 = 0;$$

$$Q_3 = R_A - F_1 + F_2 = 20 - 30 + 20 = 10 \text{ кН.}$$

$Q_3$  – поперечная сила положительная.

## 4.3 Построение эпюры изгибающих моментов

**Участок I** ( $0 \leq z_1 \leq 4$ ):



$$R_A \cdot z_1 - M_{и1} = 0;$$

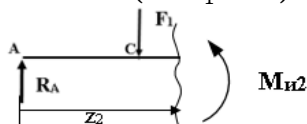
$$M_{и1} = R_A \cdot z_1.$$

$$M_{и1}(z_1 = 0) = 20 \cdot 0 = 0 \text{ (} M_A \text{)}$$

$$M_{и1}(z_1 = 4) = 20 \cdot 4 = 80 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

$M_{и1}$  – изгибающий момент положительный.

**Участок II** ( $4 \leq z_1 \leq 10$ ):



$$R_A \cdot z_2 - F_1(z_2 - 4) - M_{и2} = 0;$$

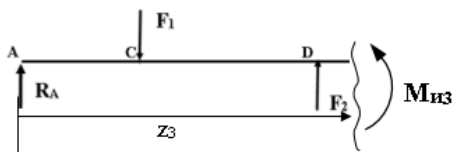
$$M_{и2} = R_A \cdot z_2 - F_1(z_2 - 4);$$

$$M_{и2}(z_2 = 4) = 20 \cdot 4 - 30(4 - 4) = 80 \text{ кН} \cdot \text{м (} M_C \text{)}$$

$$M_{и2}(z_2 = 10) = 20 \cdot 10 - 30(10 - 4) = 20 \text{ кН} \cdot \text{м (} M_D \text{)}$$

$M_{и2}$  – изгибающий момент положительный.

**Участок III** ( $10 \leq z_1 \leq 12$ ):





$$R_A \cdot z_3 - F_1(z_3 - 4) + F_2(z_3 - 10) - M_{из} = 0;$$

$$M_{из} = R_A \cdot z_3 - F_1(z_3 - 4) + F_2(z_3 - 10);$$

$$M_{из}(z_3 = 10) = 20 \cdot 10 - 30(10 - 4) + 20(10 - 10) = 20 \text{ кН} \cdot \text{м} (M_D)$$

$$M_{из}(z_3 = 12) = 20 \cdot 12 - 30(12 - 4) + 20(12 - 10) = 40 \text{ кН} \cdot \text{м} (M_B)$$

$M_{из}$  – изгибающий момент положительный.

По полученным значениям строим эпюры поперечных сил и изгибающих моментов (рисунок 27)

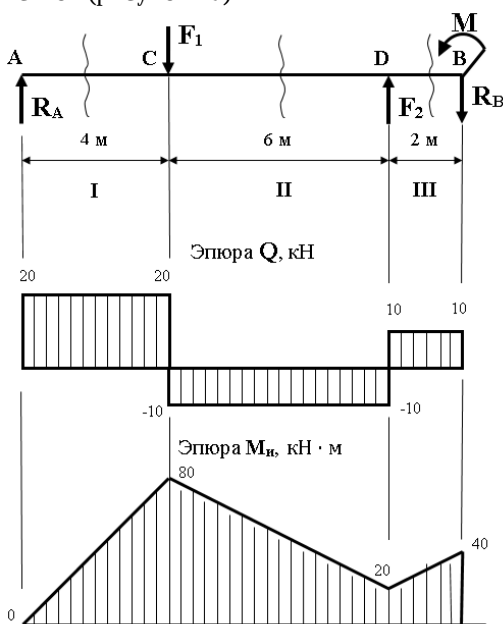


Рисунок 27 – Эпюры поперечных сил и изгибающих моментов

#### 4.4 Определение поперечных сечений

Используя условие прочности при изгибе, подберём поперечное сечение для балки в виде двутавра и прямоугольника с соотношением сторон  $h=2b$ .

Опасное сечение – сечение балки, где действует максимальный момент

$$M_{и}^{max} = M_D = 80 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Подбираем размеры балки в опасном сечении по условию прочности

$$\sigma_{и}^{max} = \frac{M_{и}}{W_x} \leq [\sigma_{и}];$$

$$W_x \geq \frac{M_{\text{и}}}{[\sigma_{\text{и}}]} = \frac{80 \cdot 10^3 \cdot 10^3}{160} = 500 \cdot 10^3 \text{ мм}^3;$$

$$W_x = 500 \text{ см}^3.$$

По таблицам сортамента ГОСТ 8239-89 (Приложение Б) выбираем двутавр №33:

осевой момент сопротивления  $W_x = 597 \text{ см}^3$ , площадь сечения  $A = 53,8 \text{ см}^2$ .

Для сравнения подсчитаем размеры балки прямоугольного сечения. Осевого момента сопротивления прямоугольника

$$W_x = \frac{b \cdot h^2}{6}$$

По условию задачи  $h=2b$ . Имеем

$$W_x = \frac{b \cdot (2b)^2}{6} = \frac{4b^3}{6} = \frac{2b^3}{3}, \text{ откуда } b \geq \sqrt[3]{\frac{3 \cdot W_x}{2}}; \quad b \geq \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 500}{2}} \approx 9,1 \text{ см.}$$

Площадь прямоугольника

$$A = hb = 2b \cdot b = 2 \cdot b^2 = 2 \cdot 9,1^2 = 165,62 \text{ см}^2.$$

**4.5** Найдем выигрыш в материале от применения двутаврового сечения, сравнив площади поперечных сечений:

$$\frac{A_{\text{прямоугольника}}}{A_{\text{двутавра}}} = \frac{165,62}{53,8} = 3,08.$$

**Вывод:** целесообразно применять сечение балки в виде двутавра.

### Методические указания к решению задания 5

Механические передачи чаще всего передают вращательное движение, изменяют направление, частоту, плоскость вращения, вращающий момент.

Частота вращения измеряется в об/мин ( $n$ ), а угловая скорость вращения в рад/с ( $\omega$ ). Между ними существует следующая зависимость:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{\pi n}{30} \left[ \frac{\text{рад}}{\text{с}} \right] \text{ или } \left[ \frac{1}{\text{с}} \right]$$

Имеется в виду, что в одном обороте  $2\pi = 6,28$  радиан, а в одной минуте 60 секунд.

Изменение частоты вращения выражают через передаточное отношение  $u_{12}$ .

$$u_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2},$$

где  $\omega_1$  – угловая скорость ведущего вала;

$n_1$  – частота вращения ведущего вала;

$\omega_2$  – угловая скорость ведомого вала;

$n_2$  – частота вращения ведомого вала.

Передаточное отношение зависит от размера деталей передач (зубчатых коле, шкивов, и т.д.): большую частоту вращения имеет меньшая деталь, меньшую частоту – большая, поэтому передаточное отношение через размеры выглядит так:

$$u_{12} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{D_2}{D_1}$$

где  $z$  – зубьев зубчатого колеса, звездочки;

$D$  – диаметр шкива зубчатого колеса, звездочки.

Для многоступенчатой передачи передаточное отношение определяется перемножением передаточных чисел ступеней.

$$u_{1i} = u_{12} \cdot u_{23} \cdot u_{34} \dots u_{(i-1)i}.$$

Мощность  $P$  – параметр, полученный как произведение параметра действия на параметр быстроты движения. Так как параметр действия при вращении – вращающий момент  $M$  и параметр быстроты вращения – угловая скорость  $\omega$ , то получим:

$$P = M \cdot \omega \left[ \text{Н} \cdot \text{м} \cdot \frac{1}{\text{с}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{с}} \right] = [\text{Вт}]$$

Коэффициент полезного действия  $\eta$ , показывает отношение мощности  $P_2$  ведомого вала к мощности  $P_1$  ведущего вала

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}.$$

Потери мощности необходимы для преодоления сопротивления в зацеплении, подшипниках, смазке, перемещений продуктов износа, смазки.

Рекомендуется при определении полезной мощности принимать следующие значения КПД, обусловленные степенью точности и чистоты обработки выпускаемых деталей (таблица 6):

Таблица 6

пара подшипников	–	$\eta_{\text{п}} = 0,99$
цепная передача	–	$\eta_{\text{ц}} = 0,97$
ременная передача	–	$\eta_{\text{р}} = 0,96$

зубчатая передача	–	$\eta_3 = 0,98$
червячная передача	–	$\eta_4 = 0,8$

Учитывая, что  $P_1 = M_1 \cdot \omega_1$ ;  $P_2 = M_2 \cdot \omega_2$ , получим

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{M_2 \cdot \omega_2}{M_1 \cdot \omega_1} = \frac{M_2}{M_1 \cdot u_{12}}.$$

Тогда  $M_2 = M_1 \cdot u_{12} \cdot \eta$ , а также

$$u_{12} = \frac{M_2}{M_1 \cdot \eta_1}$$

Коэффициент полезного действия привода, состоящего из нескольких передач (ступеней), определяют произведением КПД всех передач

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \dots \eta_{in} \cdot \eta_{п}^n,$$

где  $1, 2 \dots i$  – номера передач;

$n$  – количество пар подшипников в приводе.

### Пример выполнения задания 5

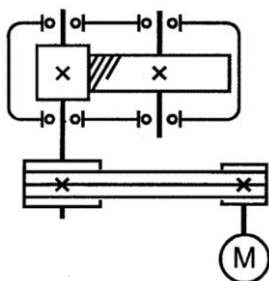


Рисунок 28

Определить угловые скорости, вращающие моменты, мощности на валах, передаточные отношения, КПД привода (рисунок 28).

Описать назначение, устройство и принцип работы привода.

Исходные данные:

- передаточное отношение  $u_{23} = 2,8$ ,
- = мощность электродвигателя  $P_{дв} = 7 \text{ кВт}$ ,
- частота вращения его вала  $n_1 = 750 \text{ об/мин}$ ,
- диаметры шкивов  $D_1 = 80 \text{ мм}$ ,  $D_2 = 160 \text{ мм}$ .

**Решение:**

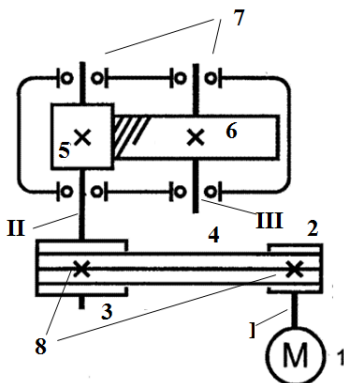


Рисунок 29

# **1. Кинематическая схема привода (рисунок 29):**

- 1 – электродвигатель;
- 2,3 – шкивы ременной передачи с двумя клиновыми проточками;
- 4 – два клиновых ремня;
- 5,6 – шестерня и колесо зубчатой передачи;
- 7 – подшипники качения;
- 8 – шпонки;
- I – вал электродвигателя;
- II, III – соответственно, входной и выходной валы редуктора.

Характеристика привода: привод понижающий двухступенчатый. Первая ступень - открытая ременная передача,  $\eta_p = 0,96$  (таблица 6). Вторая ступень - закрытая зубчатая цилиндрическая косозубая передача - редуктор,  $\eta_{ред} = \eta_3 = 0,98$ .

## **2. Определение КПД привода**

$$\eta = \eta_p \cdot \eta_3 \cdot \eta_{II}^2 = 0,96 \cdot 0,98 \cdot 0,99^2 = 0,922$$

## **3. Определение передаточных отношений:**

– передаточное отношение ременной передачи

$$u_{12} = u_p = \frac{D_2}{D_1} = \frac{160}{80} = 2;$$

– общее передаточное отношение привода

$$u_{13} = u_{12} \cdot u_{23} = 2 \cdot 2,8 = 5,6.$$

## **4. Определение угловых скоростей на всех валах привода:**

$$\omega_1 = \frac{\pi n_1}{30} = \frac{3,14 \cdot 750}{30} = 78,5 \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

$$u_{12} = \frac{\omega_1}{\omega_2} \Rightarrow \omega_2 = \frac{\omega_1}{u_{12}} = \frac{78,5}{2} = 39,3 \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

$$\omega_3 = \frac{\omega_2}{u_{23}} = \frac{39,3}{2,8} = 14 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

## **5. Определение мощностей на всех валах:**

$$P_1 = P_{\text{дв}} = 7 \text{ кВт};$$

$$P_2 = P_1 \cdot \eta_p = 7 \cdot 0,96 = 6,72 \text{ кВт};$$

$$P_3 = P_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_{\text{п}}^2 = 6,72 \cdot 0,98 \cdot 0,99^2 = 6,45 \text{ кВт}.$$

## 6. Определение вращающих моментов на всех валах:

$$M_1 = \frac{P_1}{\omega_1} = \frac{7 \cdot 10^3}{78,5} = 89,2 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_2 = \frac{P_2}{\omega_2} = \frac{6,72 \cdot 10^3}{39,3} = 171 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_3 = \frac{P_3}{\omega_3} = \frac{6,45 \cdot 10^3}{14} = 461 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

## 7. Назначение, принцип работы, устройство привода.

Привод предназначен для передачи движения и усилия от электродвигателя ( $P_1 = 7 \text{ кВт}, n_1 = 750 \frac{\text{об}}{\text{мин}}, M_1 = 89,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ) к ведомому валу редуктора ( $P_3 = 6,45 \text{ кВт}, n_3 = \frac{n_1}{u_{13}} = \frac{750}{5,6} = 134 \frac{\text{об}}{\text{мин}}, M_3 = 461 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ), изменения направления вращения, изменения частоты вращения в  $u_{13} = 5,6$  раз, изменения вращающего момента в  $u_{13} \cdot \eta = 5,6 \cdot 0,922 = 5,2$  раза.

Потери мощности  $P_1 - P_3 = 7 - 6,45 = 0,55 \text{ кВт}$ .

Привод устроен из электродвигателя (М), ременной и зубчатой передач.

Ременная передача передает вращение с вала двигателя (I) на вал редуктора (II), изменяя частоту вращения в  $u_{12} = 2$  раза, момент вращения в  $u_{12} \cdot \eta_p = 2 \cdot 0,96 = 1,9$  раз, теряя при этом  $P_1 - P_2 = 7 - 6,72 = 0,28 \text{ кВт}$ .

Ременная передача состоит из двух шкивов 2, 3 с диаметрами  $D_1 = 80 \text{ мм}, D_2 = 160 \text{ мм}$  с двумя клиновыми проточками, двух клиновых ремней 4. Шкивы установлены на валы двигателя и редуктора на шпонках 3.

Редуктор (зубчатая передача) передает вращение с ведущего вала II на ведомый III, изменяя направление вращения, частоту вращения в 2,8 раза и момент вращения в 2,7 раза.

Передача осуществляется за счет зацепления колес.

Редуктор многоступенчатый состоит из пары зубчатых колес 5,6, закрепленных на валах шпонками. Валы вращаются в подшипниках качения 7, установленных в гнездах корпуса.

## **6 КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ ДОМАШНЕЙ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ**

Проверка и рецензирование домашней контрольной работы осуществляется преподавателем в течение 7 дней со дня ее поступления на заочное отделение факультета. По результатам выполнения домашней контрольной работы выставляется «зачтено» или «не зачтено».

Отметка «не зачтено» выставляется, если:

- работа полностью или частично не соответствует варианту задания;
- работа выполнена не в полном объеме;
- практические задания выполнены без соблюдения рекомендаций;
- перечень использованной литературы содержит менее 5 источников;
- оформление работы не соответствует требованиям.

Не зачтенная контрольная работа возвращается обучающемуся на доработку. В работе над ошибками ответы необходимо исправить точно в соответствии с замечаниями преподавателя, перечисленными в рецензии.

Работа, выполненная после установленного учебным графиком срока ее сдачи, принимается на проверку только по согласованию с заведующим заочным отделением факультета. В период экзаменационной сессии по такой работе может быть проведено устное собеседование.

## 7 ВОПРОСЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЭКЗАМЕНУ

1. Изложите основные задачи и положения курса «Техническая механика»
2. Раскройте понятия о силе и системе сил. Сформулируйте аксиомы статики.
3. Дайте определение понятиям связи и силы реакций связей. Назовите типы связей и укажите направление их реакций.
4. Раскройте определение равнодействующей системы сил. Укажите способы ее определения.
5. Изложите сущность метода определения равнодействующей геометрическим способом. Раскройте понятие о многоугольнике сил.
6. Дайте определение проекции силы на ось; изложите сущность метода определения равнодействующей аналитическим способом.
7. Сформулируйте и раскройте формы условий равновесия плоской системы сходящихся сил..
8. Раскройте понятие о паре сил и о моменте пары сил. Сформулируйте свойства пар.
9. Дайте определение момента силы относительно точки на плоскости. Расскажите о свойствах момента силы относительно точки на плоскости.
10. Сформулируйте теорему Пуансо о параллельном переносе силы. Дайте определение плоской системы сил, главного вектора и главного момента системы.
11. Расскажите о частных случаях приведения системы сил к точке. Сформулируйте условия равновесия произвольной системы сил; изложите три формы условий равновесия.
12. Объясните определение координат центра тяжести сложного сечения, состоящего из простых геометрических фигур
13. Расскажите о моменте силы относительно оси. Сформулируйте условия равновесия пространственной системы сил.
14. Охарактеризуйте основные кинематические параметры. Изложите способы задания движения точки.
15. Дайте определение скорости и ускорения точки. Укажите формулы определения скорости и ускорения при различном способе задания движения точки.
16. Проанализируйте виды и кинематические параметры движения, укажите формулы законов движения точки, их кинематические графики.
17. Охарактеризуйте простейшие виды движения точки, их особенностях и параметрах.
18. Охарактеризуйте вращательное движение твердого тела. Дайте определение угловой скорости, углового ускорения
19. Расскажите о частных случаях вращательного движения, укажите формулы законов вращения точки, их кинематические графики.



20. Сформулируйте основные понятия и аксиомы динамики. Изложите основной закон динамики.

21. Изложите сущность принципа кинетостатики (принципа Даламбера); порядок решения задач с использованием принципа Даламбера.

22. Дайте определение и раскройте понятие работы силы при прямолинейном и криволинейном перемещениях, о работе силы тяжести.

23. Дайте определение и раскройте понятие о полезной и затраченной мощности, о коэффициенте полезного действия.

24. Сформулируйте общие теоремы динамики.

25. Сформулируйте основное уравнение динамики для вращательного движения твердого тела.

26. Сформулируйте основные положения, гипотезы и допущения сопротивления материалов. Изложите основные требования к деталям и конструкциям;

27. Расскажите о видах расчета в сопротивлении материалов.

28. Расскажите о классификации нагрузок и элементов конструкции. Раскройте понятие о внутренних силовых факторах.

29. Изложите сущность метода сечений. Раскройте понятие о внутренних силовых факторах и возникающих деформациях, о механических напряжениях, о составляющих напряжениях.

30. Дайте определение деформации растяжения (сжатия). Укажите, какие силы и напряжения возникают в поперечных сечениях бруса, работающего на растяжение (сжатие).

31. Изложите порядок и методику построения эпюр внутренних сил и напряжений. Укажите формулу для расчета нормальных напряжений.

32. Сформулируйте закон Гука при растяжении (сжатии). Охарактеризуйте понятие модуля продольной упругости.

33. Укажите формулы для расчета перемещений поперечных сечений бруса при растяжении и сжатии.

34. Расскажите о механических испытаниях материалов, статических испытаниях на растяжение и сжатие. Изобразите диаграмму растяжения низкоуглеродистой стали.

35. Укажите механические характеристики материалов (характеристики прочности и пластичности). Охарактеризуйте материалы по типу их диаграмм растяжения.

36. Дайте определение предельных и допустимых напряжений, коэффициента запаса прочности. Укажите, отчего зависит выбор допускаемого коэффициента запаса прочности.

37. Сформулируйте условие прочности при растяжении и сжатии. Охарактеризуйте виды расчета на прочность.

38. Изложите методику решения задач на прочность, укажите особенности расчета на прочность стержневых конструкций.

39. Расскажите о деформации сдвига (среза). Укажите, какие внутренние силовые факторы, напряжения, деформации возникают при сдвиге.

40. Укажите закон Гука при сдвиге. Раскройте определение модуля продольной упругости второго рода.

41. Расскажите об осевых моментах инерции. Напишите формулы для расчета осевых моментов инерции некоторых простейших сечений.

42. Расскажите о полярных моментах инерции. Напишите формулы для расчета полярного момента инерции для круга, кольцевого сечения. Как определить моменты инерции относительно параллельных осей?

43. Расскажите о деформации кручения. Укажите, какие внутренние силовые факторы возникают при кручении.

44. Изложите правила и порядок построения эпюры крутящих моментов.

45. Укажите, какие напряжения, деформации возникают при кручении. Запишите формулу для определения напряжения в любой точке поперечного сечения, формулу максимальных напряжений при кручении.

46. Сформулируйте условие прочности при кручении. Охарактеризуйте виды расчетов на прочность при кручении.

47. Сформулируйте условие жесткости при кручении. Охарактеризуйте виды расчетов на жесткость при кручении.

48. Расскажите о деформации изгиба, его видах. Укажите, какие внутренние силовые факторы возникают при изгибе.

49. Изложите правила и порядок построения эпюр поперечных сил.

50. Изложите правила и порядок построения эпюр изгибающих моментов.

51. Изложите правила и особенности построения эпюр поперечных сил и изгибающего момента по характерным точкам.

52. Напишите условие прочности при изгибе. Укажите особенности расчета на прочность при изгибе балок из пластичных и хрупких материалов.

53. Напишите условие прочности и устойчивости сжатых деталей.

54. Напишите формулу Эйлера для критической силы сжатого стержня. Каковы границы применимости формулы Эйлера?

55. Напишите формулу Ясинского для критической силы сжатого стержня. Каковы границы применимости формулы Ясинского?

56. Назовите цели и задачи раздела «Детали машин».

57. Раскройте суть понятий «механизм», «машина», «деталь», «сборочная единица». Изложите требования, предъявляемые к деталям машин и сборочным единицам.

58. Дайте определение кинематической пары. Укажите классификацию кинематических пар. Раскройте понятие кинематической схемы механизма

59. Укажите основные типы разъемных соединений. Опишите их достоинства и недостатки, особенности работы.

60. Укажите основные типы неразъемных соединений. Опишите их достоинства и недостатки, особенности работы.

61. Расскажите о назначении, классификации и элементах конструкции валов и осей, материалах валов и осей.

62. Выскажите общие суждения о назначении, условиях и принципе работы опор осей и валов. Классифицируйте опоры осей и валов.

63. Опишите устройство, достоинства и недостатки, основные типы область применения подшипников скольжения. Классифицируйте подшипники скольжения.

64. Опишите устройство, достоинства и недостатки, область применения подшипников качения. Классифицируйте подшипники качения. Объясните маркировку подшипников качения.

65. Опишите назначение, классификацию муфт. Объясните устройство и принцип действия основных типов муфт.

66. Дайте определение механической передачи. Расскажите о назначении и роли механических передач, их классификации.

67. Укажите основные кинематические и силовые соотношения в передачах, формулы для определения передаточного соотношения и коэффициента полезного действия.

68. Объясните принцип работы, устройство, достоинства и недостатки, область применения фрикционных передач. Классифицируйте фрикционные передачи.

69. Опишите принцип работы, устройство, достоинства и недостатки, область применения ременных передач. Классифицируйте ременные передачи

70. Объясните принцип работы зубчатых передач, опишите их достоинства и недостатки, область применения. Классифицируйте зубчатые передачи.

71. Объясните основные геометрические и кинематические соотношения цилиндрических прямозубых передач.

72. Объясните принцип работы, устройство червячных передач, опишите их достоинства и недостатки, область применения. Классифицируйте червячные передачи.

73. Объясните принцип работы, устройство, достоинства и недостатки, область применения цепных передач. Классифицируйте цепные передачи.

74. Объясните принцип работы, устройство передач винт-гайка, опишите их достоинства и недостатки, область применения. Классифицируйте передачи винт-гайка.

75. Опишите назначение, устройство, конструкции, основные параметры, классификации редукторов.

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

### Основные источники:

1. Олофинская, В. П. Детали машин. Краткий курс, практические занятия и тестовые задания : учебное пособие / В.П. Олофинская. — 4-е изд., испр. и доп. — Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2023. — 232 с. — (Среднее профессиональное образование). - ISBN 978-5-91134-918-9. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1971051>.
2. Сафонова, Г. Г. Техническая механика : учебник / Г.Г. Сафонова, Т.Ю. Артюховская, Д.А. Ермаков. — Москва : ИНФРА-М, 2022. — 320 с. — (Среднее профессиональное образование). - ISBN 978-5-16-012916-7. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1845924>.

### Дополнительные источники:

1. Завистовский, В. Э. Техническая механика : учебное пособие / В.Э. Завистовский. — Москва : ИНФРА-М, 2021. — 376 с. — (Среднее профессиональное образование). - ISBN 978-5-16-015256-1. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1190673>.
2. Куклин, Н. Г. Детали машин : учебник / Н.Г. Куклин, Г.С. Кукина, В.К. Житков. — 9-е изд., перераб. и доп. — Москва : КУРС : ИНФРА-М, 2024. — 512 с. : ил. - ISBN 978-5-905554-84-1. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/2088251>.
3. Олофинская В.П. Техническая механика: Курс лекций с вариантами практических и тестовых заданий: учебное пособие. – М. : ФОРУМ, 2011.
4. Сетков, В. И. Техническая механика для строительных специальностей. 150 задач с ответами : учебное пособие / В.И. Сетков. — Москва : ИНФРА-М, 2023. — 114 с. — (Среднее профессиональное образование). - ISBN 978-5-16-111440-7. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/2000894>.
5. Эрдеди А.А., Эрдеди Н.А. Техническая механика: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / А.А. Эрдеди, Н.А. Эрдеди. . – М.: «Академия», 2014. – 528 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

### Образец титульного листа

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Новосибирский государственный аграрный университет»  
Факультет среднего профессионального образования

## ДОМАШНЯЯ КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

по дисциплине

ОПЦ.02 Техническая механика

*Выполнил:*

обучающийся И.И. Иванов

Специальность 35.02.08 Электротехнические системы в агропромышленном  
комплексе (АПК)

Курс I

Группа 3172

Шифр Т323ЭЛ00

*Проверил:*

преподаватель

\_\_\_\_\_

П.П. Петров

Дата «\_\_» \_\_\_\_\_ 202\_\_ г.

Оценка \_\_\_\_\_

Новосибирск 2023

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

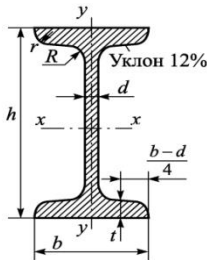
(справочное)

### Стандартный ряд диаметров (по ГОСТ 6636-69), мм:

(10; 10,5; 11; 11,5; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18; 19; 20; 21; 22; 24; 25; 26;  
28; 30; 32; 33; 34; 36; 38; 40; 42; 45; 48; 50; 52; 55; 60; 63; 65; 70;  
75; 80; 85; 90; 95; 100; 105; 110; 120; 125; 130... далее через 10 мм).

### Сталь горячекатаная.

### БАЛКИ ДВУТАВРОВЫЕ (по ГОСТ 8239-89)



Обозначения:







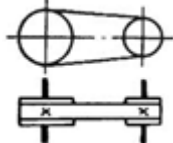
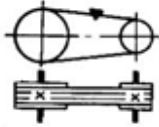
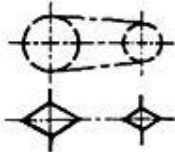
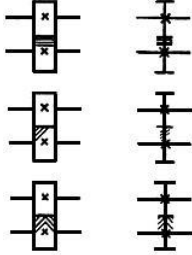
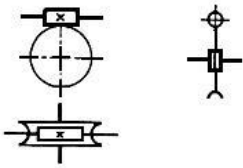
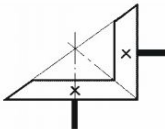
$h$  – высота двутавра;  $b$  – ширина двутавра;  $d$  – толщина стенки;  $t$  – средняя толщина полки;  $A$  – площадь двутавра;  $J$  – момент инерции;  $W$  – момент сопротивления;  $i$  – радиус инерции;  $S$  – статический момент полусечения;

№ профиля	Размеры, мм				$A$ , см <sup>2</sup>	$J_x$ , см <sup>4</sup>	$W_x$ , см <sup>3</sup>	$i_x$ , см	$S_x$ , см	$J_y$ , см <sup>4</sup>	$W_y$ , см <sup>3</sup>	$i_y$ , см
	$h$	$b$	$d$	$t$								
10	100	55	4,5	7,2	12,0	198	39,7	4,1	23,0	17,9	6,49	1,22
12	120	64	4,8	7,3	14,7	350	58,4	4,9	33,7	27,9	8,72	1,38
14	140	73	4,9	7,5	17,4	572	81,7	5,7	46,8	41,9	11,5	1,55
16	160	81	5,0	7,8	20,2	873	109	6,6	62,3	58,6	14,5	1,70
18	180	90	5,1	8,1	23,4	1290	143	7,4	81,4	82,6	18,4	1,88
20	200	100	5,2	8,4	26,8	1840	184	8,3	104	115	23,1	2,07
22	220	110	5,4	8,7	30,6	2550	232	9,1	131	157	28,6	2,27
24	240	115	5,6	9,5	34,6	3460	289	10,0	163	198	34,5	2,37
27	270	125	6,0	9,8	40,2	5010	371	11,2	210	260	41,5	2,54
30	300	135	6,5	10,2	46,5	7080	472	12,3	268	337	49,9	2,69
33	330	140	7,0	11,2	53,8	9840	597	13,5	339	419	59,9	2,79
36	360	145	7,5	12,3	61,9	13380	743	14,7	423	516	71,1	2,89
40	400	155	8,3	13,0	72,6	19062	953	16,2	545	667	86,1	3,03
45	450	160	9,0	14,2	84,7	27696	1231	18,1	708	808	101	3,09
50	500	170	10,0	15,2	100	39727	1589	19,9	919	1043	123	3,23
55	550	180	11,0	16,5	118	55962	2035	21,8	1181	1356	151	3,39
60	600	190	12,0	17,8	138	76806	2560	23,6	1491	1725	182	3,54

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

(справочное)

### Условные графические обозначения некоторых деталей и узлов машин

Двигатель		Эластичное соединение двух соосных валов	
Вал, валик, ось, стержень, шатун и т.п.		Деталь на валу на глухой шпонке	
Радиальный подшипник без уточнения типа		Радиальный подшипник качения (общее обозначение)	
Открытая передача плоским ремнем		Передача клиновидными (текстропными) ремнями	
Общее обозначе- ние цепной передачи без уточнения типа		Передача зубчатая цилиндрическая с прямыми, косыми и шевронными зубьями	
Передача червячная с цилиндри- ческим червяком		Зубчатая коническая передача (общее обозначение без уточнения типа)	

Составитель: Цой В.В., преподаватель высшей квалификационной категории  
факультета СПО ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ

## **ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА**

Методические указания к выполнению домашней контрольной  
работы для студентов заочной формы обучения

Специальность 35.02.08 Электротехнические системы в  
агропромышленном комплексе (АПК)

Печатается в авторской редакции

Формат 60×84/16 . Объем \_\_\_\_\_ уч.-изд. л.  
Тираж \_\_\_\_\_ экз. Изд. № \_\_\_\_\_. Заказ № \_\_\_\_\_

---

Отпечатано на факультете СПО Новосибирский ГАУ