



Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования «Брестский государственный
технический университет»
Филиал Учреждения образования «Брестский государственный
технический университет» Политехнический колледж

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель директора
по учебной работе
_____ С.В. Маркина
«__» _____ 2017 г.

ОСНОВЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

для выполнения домашних контрольных работ
для учащихся специальности
2-39 02 32 «Проектирование и производство радиоэлектронных средств»

_____ **заочная** _____
(форма обучения)

2017

Разработала: М.О. Храпунова, преподаватель Филиала УО «Брестский Государственный Технический Университет» Политехнический колледж.

Методические указания разработаны на основании учебной программы «Основы технической механики», утвержденной директором Филиала УО «Брестский Государственный Технический Университет» Политехнический колледж 14.06.2016 года.

Методические указания обсуждены и рекомендованы к использованию на заседании цикловой комиссии радиотехнических дисциплин

27.09.2017 Протокол № 3

Председатель цикловой комиссии _____ Л.П. Бойко

Содержание

Пояснительная записка	4
1 Тематический план.....	5
2 Программа учебной дисциплины	6
3 Список используемых источников.....	20
4 Требования к выполнению и оформлению домашней контрольной работы.....	22
5 Задания для домашней контрольной работы и методические указания по их выполнению.....	25
6 Критерии оценки домашней контрольной работы.....	73
Приложение А Форма титульного листа для домашней контрольной работы	74

Пояснительная записка

Учебная дисциплина «Основы технической механики» является общетехнической, назначение которой - дать учащимся основные сведения о законах равновесия и движения материальных тел, о методах расчёта элементов машин и сооружений на прочность, жёсткость и устойчивость, об устройстве, области применения и основах проектирования деталей механизмов и машин общего назначения.

Знания и навыки, полученные при изучении дисциплины, являются основой для освоения смежных специальных дисциплин.

В результате изучения дисциплины учащиеся должны *знать на уровне представления:*

- значение и основные задачи технической механики;
- применение механизмов, деталей машин;
- методы проектирования механических систем;

знать на уровне понимания:

- понятия, теоремы и аксиомы теоретической механики;
- виды деформаций, основные понятия сопротивления материалов;
- принцип расчета деталей механизмов на прочность, жесткость, устойчивость;
- назначение, классификацию деталей машин и механизмов радиоэлектронных средств;

уметь:

- выбирать расчетную схему (модель) и проводить расчеты типовых элементов механизмов в процессе проектирования радиоэлектронных средств;
- анализировать условия работы простейших механизмов, определять вид нагружения, характер эксплуатационной нагруженности;
- определять критерии работоспособности деталей и составлять расчетные схемы;
- составлять простейшие кинематические схемы, проводить кинематический и силовой расчет механических передач и приводов;
- определять класс и по справочникам выбирать марки, характеристики физико-механических свойств и допускаемые напряжения конструкционных материалов радиоэлектронных средств.

Данное пособие содержит задания к домашней контрольной работе, методические указания по их выполнению и перечень рекомендуемой для самостоятельного изучения литературы.

1 Тематический план

Раздел, тема		Количество учебных часов		
		Всего	В том числе	
			на лабораторные работы	на практические работы
	Введение	1		
	Раздел 1. Статика	15	2	2
1.1.	Основные понятия и аксиомы статики	1		
1.2.	Плоская система сходящихся сил	4		
1.3.	Пара сил	2		
1.4.	Плоская система произвольно расположенных сил	4		2
1.5.	Центр тяжести	4	2	
	Раздел 2. Сопротивление материалов	26	8	2
2.1.	Основные положения	2		
2.2.	Растяжение и сжатие	8	4	
2.3.	Практические расчеты на срез и смятие	1		
2.4.	Геометрические характеристики плоских сечений	1		
2.5.	Кручение	4	2	
2.6.	Изгиб	5	2	
	<i>Обязательная контрольная работа</i>	1		
2.7.	Изгиб и кручение	4		2
	Раздел 3. Элементы кинематики и динамики	8		
3.1.	Основные понятия кинематики	1		
3.2.	Кинематика точки	1		
3.3.	Простейшие движения твердого тела	2		
3.4.	Основные понятия и аксиомы динамики	1		
3.5.	Силы инерции. Метод кинетостатики	1		
3.6.	Работа и мощность	1		
3.7.	Общие теоремы динамики. Основное уравнение динамики вращающегося тела	1		
	Раздел 4. Детали машин и механизмов	16	6	
4.1.	Основные понятия и определения	1		
4.2.	Соединение деталей	1		
4.3.	Механизмы поступательного, колебательного и прерывистого движения	3	2	
4.4.	Винтовые механизмы	1		
4.5.	Механизмы передачи вращательного движения	7	4	
4.6.	Валы и оси	1		
4.7.	Опоры осей и валов (подшипники)	1		
4.8.	Муфты	1		
	Итого	66	16	4

2 Программа учебной дисциплины

Введение

Общая характеристика учебной дисциплины «Основы технической механики». Цели ее изучения и задачи. Место и роль учебной дисциплины в системе специальных дисциплин и подготовке высококвалифицированных специалистов.

Раздел 1. СТАТИКА

Тема 1.1. Основные понятия и аксиомы статики

Материальная точка. Абсолютно твердое тело. Сила. Система сил. Эквивалентные системы сил. равнодействующая. Уравновешивающая сила. Первая аксиома (закон инерции). Вторая аксиома (условие равновесия двух сил). Третья аксиома (принцип присоединения и исключения уравновешенных сил). Перенос силы вдоль линии ее действия (сила – скользящий вектор). Четвертая аксиома (правило параллелограмма), пятая аксиома (закон равенства действия и противодействия). Свободное и несвободное тело. Связи и реакции связей.

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите разделы теоретической механики и укажите, какие вопросы в них изучают.
2. Дайте определение материи. Перечислите формы движения материи.
3. Укажите в чем общность понятий «абсолютно твердое тело» и «материальная точка» и в чем их различие.
4. Дайте определение понятию «сила».
5. Укажите, какие системы сил называют статически эквивалентными.
6. Дайте определение понятиям «равнодействующая система сил», «уравновешивающая сила».
7. Сформулируйте аксиомы статики: первую аксиому (закон инерции), вторую аксиому (условие равновесия двух сил), третью аксиому (принцип присоединения и исключения уравновешенных сил), четвертую аксиому (правило параллелограмма), пятую аксиому (закон равенства действия и противодействия).
8. Раскройте смысл понятий «свободное тело», «связанное тело» в теоретической механике.
9. Раскройте смысл понятия «связь» в теоретической механике.
10. Дайте определение понятию «реакция связи».
11. Перечислите виды связей и укажите направление соответствующих им реакций.

Тема 1.2. Плоская система сходящихся сил

Понятие о системе сходящихся сил. Геометрический метод сложения плоской системы сходящихся сил. Силовой многоугольник. Геометрическое условие равновесия плоской системы сходящихся сил.

Проекция силы на ось. Правило знаков. Проекция силы на две взаимно перпендикулярные оси. Аналитическое определение равнодействующей плоской системы сходящихся сил (метод проекций). Аналитическое условие равновесия плоской системы сходящихся сил. Уравнения равновесия. Методика расчета типовых задач с использованием уравнений равновесия.

Вопросы для самоконтроля

1. Изложите геометрический способ нахождения равнодействующей плоской системы сходящихся сил.

2. Раскройте смысл понятия «проекция силы на ось». В каком случае проекция силы на ось равна нулю?

3. Покажите, как найти силовое значение и направление равнодействующей системы сил, если заданы проекции составляющих сил на две взаимно перпендикулярные оси.

4. Сформулируйте аналитическое условие равновесия плоской системы сходящихся сил.

Тема 1.3. Пара сил

Понятие о паре сил. Действие пары сил на тело. Плечо пары сил, момент пары, знак момента. Свойства пары сил. Сложение пар. Условие равновесия пар.

Вопросы для самоконтроля

1. Раскройте смысл понятия «проекция силы на ось». В каком случае проекция силы на ось равна нулю?

2. Покажите, как найти силовое значение и направление равнодействующей системы сил, если заданы проекции составляющих сил на две взаимно перпендикулярные оси.

3. Сформулируйте аналитическое условие равновесия плоской системы сходящихся сил.

4. Дайте определение понятию «пара сил».

5. Дайте определение понятиям «момент пары сил», «плечо пары сил».

6. Сформулируйте условие равновесия системы пар сил.

Тема 1.4. Плоская система произвольно расположенных сил

Момент силы относительно точки. Приведение силы к данной точке (центру). Приведение плоской системы сил к данной точке. Главный вектор и главный момент плоской системы сил. Равнодействующая плоской системы сил. Теорема Вариньона, ее применение. Условия и уравнения равновесия плоской системы произвольно расположенных сил (представлены в трех формах).

Балочные системы: виды опор, опорные реакции. Классификация нагрузок (по способу приложения, по характеру действия, по времени действия).

Вопросы для самоконтроля

1. Дайте определение понятию «момент силы относительно точки».
2. Приведите правило знаков для момента силы относительно точки.
3. Дайте определение понятию «плечо силы».
4. Укажите, в каком случае момент силы относительно точки равен нулю.
5. Дайте определение понятию «главный вектор» и «главный момент» плоской системы сил.
6. Сформулируйте теорему Вариньона.
7. Сформулируйте аналитическое условие равновесия плоской системы произвольно расположенных сил.
8. Укажите три вида уравнения равновесия плоской системы произвольно расположенных сил.
9. Укажите, как рационально выбрать направления осей координат и центр моментов.
10. Раскройте суть понятий «сосредоточенная нагрузка» и «распределенная нагрузка».
11. Дайте определение понятию «интенсивность равномерно распределенной нагрузки».
12. Покажите, как найти числовое значение, направление и точку приложения равнодействующей равномерно распределенной нагрузки.
13. Объясните, какие системы называются статически определимыми.

Тема 1.5. Центр тяжести

Сложение параллельных сил. Центр параллельных сил. Сила тяжести тела. Статический момент площади и его свойства.

Положение центра тяжести простых геометрических фигур. Центр тяжести составных плоских фигур.

Алгоритм решения задач на определение центра тяжести.

Вопросы для самоконтроля

1. Дайте определение понятию «центр параллельных сил».
2. Покажите, как найти координаты центра параллельных сил.
3. Дайте определение понятию «центр тяжести» тела.
4. Объясните, как найти центр тяжести прямоугольника, треугольника, круга.
5. Объясните, как найти координаты центра тяжести плоского составного сечения.

Раздел 2. СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ

Тема 2.1. Основные положения

Основные задачи сопротивления материалов: расчет элементов конструкций на прочность, расчет элементов конструкции на жесткость, расчет элементов конструкций на устойчивость.

Деформируемое тело.

Деформации упругие и пластические. Классификация нагрузок: распределенные, сосредоточенные, статические, динамические и повторно-переменные. Гипотезы и допущения о свойствах материалов и характере деформаций. Понятие о брус. Метод сечений. Применение метода сечений для определения внутренних силовых факторов, возникающих в поперечном сечении бруса. Определение вида нагружения (деформированного состояния) в зависимости от внутренних силовых факторов. Напряжение полное, нормальное, касательное.

Вопросы для самоконтроля

1. Сформулируйте цель изучения сопротивления материалов.
2. Укажите, чем отличается упругая деформация от пластической деформации.
3. Проанализируйте, следует ли учитывать изменение размеров тел при составлении уравнений равновесия сил, приложенных к нему.
5. Приведите случаи, в которых при действии на тело нескольких сил эффект действия каждой силы можно считать независимым от действия других сил. Какое название, носит этот принцип?
6. Нарисуйте расчетные схемы, какими заменяются реальные объекты расчета. Перечислите геометрические признаки, присущие каждой расчетной схеме.
7. Поясните, почему нельзя определить внутренние силовые факторы в произвольном сечении, рассматривая равновесие всего тела в целом.
8. Объясните, в чем заключается метод сечений.
9. Проанализируйте можно ли с помощью метода сечений установить закон распределения внутренних силовых факторов по проведенному сечению.
10. Дайте определение понятию «напряжение». Какова размерность напряжения.
11. Укажите, в каком случае брус испытывает деформацию растяжения или сжатия.

Тема 2.2. Растяжение и сжатие

Продольные силы и их эпюры. Гипотеза плоских сечений. Нормальные напряжения в поперечных сечениях бруса. Эпюры нормальных напряжений.

Продольная и поперечная деформации при растяжении (сжатии). Закон Гука. Модуль продольной упругости, коэффициент поперечной деформации (коэффициент Пуассона). Осевые перемещения поперечных сечений.

Испытание материалов на растяжение и сжатие при статическом нагружении.

Диаграмма растяжения малоуглеродистой стали. Основные механические характеристики. Диаграммы растяжения хрупких материалов. Механические характеристики пластичных и хрупких материалов при сжатии.

Напряжения расчетные, предельные и допускаемые. Коэффициент запаса прочности. Расчет на прочность: проверочный, проектный и определение допускаемой нагрузки.

Вопросы для самоконтроля

1. Укажите, в каком случае брус испытывает деформацию растяжения или сжатия.
2. Сформулируйте закон изменения нормальных напряжений по площади поперечного сечения при растяжении и сжатии.
3. Поясните, влияет ли форма поперечного сечения на значение напряжений, возникающих при растяжении и сжатии.
4. Дайте определение понятиям «эпюра нормальных сил» и «эпюра нормальных напряжений».
5. Укажите, с какой целью строятся эпюры N и σ . Покажите, какое поперечное сечение бруса называется опасным.
6. Дайте определение понятию «модуль продольной упругости материала». Какова его размерность?
7. Укажите связь между продольной и поперечной деформацией.
8. Дайте определение понятиям «жесткость сечения» бруса и «жесткость» бруса при растяжении (сжатии).
9. Укажите, с какой целью проводят механические испытания материалов.
10. Дайте определение понятиям «предел пропорциональности», «предел упругости», «предел текучести», «предел прочности» и укажите формулы для их определения.
11. Перечислите характеристики пластичных свойств материалов, укажите формулы для их определения.
12. Раскройте суть закона разгрузки и повторного нагружения.

Тема 2.3. Практические расчеты на срез и смятие

Понятие о срезе и смятии. Условия прочности, на срез и смятие. Допускаемые напряжения. Расчетные формулы, примеры расчетов.

Вопросы для самоконтроля

1. Дайте определение понятию «статически неопределимые системы», сформулируйте допущения, на которых основаны расчёты на срез.
2. Приведите формулы, по которым производят расчёт на срез и смятие.
3. Напишите, как определяется площадь смятия, если поверхность смятия цилиндрическая, плоская.

Тема 2.4. Геометрические характеристики плоских сечений

Осевые, центробежные и полярные моменты инерции. Связь между осевыми и полярными моментами инерции. Связь между осевыми моментами инерции относительно параллельных осей.

Главные оси и главные центральные моменты инерции. Осевые моменты инерции простейших сечений: прямоугольника, круга, кольца. Определение главных центральных моментов инерции составных сечений, имеющих ось симметрии.

Вопросы для самоконтроля

1. Дайте определение понятию «статический момент сечения».

2. Дайте определение понятиям «осевой» и «центробежный» моменты инерции плоского сечения.
3. Проанализируйте, изменяются ли центробежные и осевые моменты инерции при повороте осей. При параллельном переносе.
4. Дайте определение понятию «главные центральные оси инерции».
5. Покажите, какая существует связь между моментами инерции относительно параллельных осей, из которых одна является центральной.
6. Напишите формулы для вычисления осевых моментов инерции для прямоугольника, равнобедренного треугольника, круга и кольца.
7. Объясните, как определяют осевые моменты инерции сложных составных сечений.

Тема 2.5. Кручение

Чистый сдвиг. Закон Гука при сдвиге. Модуль сдвига. Кручение прямого бруса круглого поперечного сечения. Крутящий момент. Эпюры крутящих моментов. Напряжения и деформации при кручении бруса круглого сечения.

Полярные моменты сопротивления сечения для круга и кольца. Методика расчета валов на прочность и жесткость при кручении. Методика расчета цилиндрических винтовых пружин. Изменение высоты пружины в зависимости от действующей нагрузки.

Вопросы для самоконтроля

1. Объясните, что Вы понимаете под деформацией сдвига.
2. Дайте определение понятию «модуль сдвига» и объясните, как он связан с «модулем продольной упругости».
3. Объясните, как определяется крутящий момент в произвольном сечении.
4. Запишите зависимость, существующую между передаваемой валом мощностью, вращающим моментом и угловой скоростью.
5. Сформулируйте гипотезы и допущения, на которых основаны выводы формул для определения касательных напряжений и углов поворота сечений при кручении бруса круглого сечения.
6. Запишите закон изменения касательных напряжений по площади поперечного сечения при кручении.
7. Укажите геометрические характеристики сечения вала при кручении.
8. Обоснуйте, почему выгоднее применять валы кольцевого, а не сплошного сечения.

Тема 2.6. Изгиб

Основные понятия и определения. Виды изгиба: прямой изгиб (чистый и поперечный), косой изгиб (чистый и поперечный).

Внутренние силовые факторы при прямом изгибе: поперечная сила и изгибающий момент. Построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов. Жесткость сечения при изгибе. Нормальные напряжения, возникающие в поперечных сечениях бруса при чистом изгибе. Расчеты на прочность при изгибе.

Осевые моменты сопротивления. Рациональные формы поперечных сечений балок. Линейные и угловые перемещения. Понятие о расчете балок на жесткость.

Вопросы для самоконтроля

1. Покажите, в каком случае балка работает на изгиб.
2. Дайте определение понятиям «чистый» и «поперечный изгиб». Укажите, какие внутренние силовые факторы возникают в поперечных сечениях бруса в этих случаях.
3. Укажите метод, каким определяют внутренние силовые факторы, действующие в поперечных сечениях на изгиб.
4. Напишите, чему равны поперечная сила и изгибающий момент в продольном сечении балки при изгибе.
5. Объясните, для чего строятся эпюры поперечных сил и изгибающих моментов.
6. Сформулируйте правило знаков для поперечной силы и изгибающего момента.
7. Объясните, какими линиями очерчиваются эпюры поперечных сил и изгибающих моментов на участке действия равномерно распределенной нагрузки.
8. Покажите на конкретном примере, как меняется характер эпюр поперечных сил и изгибающих моментов в точках приложения сосредоточенных сил и моментов?
9. Напишите формулы для определения осевых моментов сопротивления при изгибе для прямоугольника, круга и кольца.
10. Укажите перемещения, которыми сопровождается изгиб.

Тема 2.7. Изгиб и кручение

Совместное действие изгиба и кручения. Внутренние силовые факторы и напряжения в поперечном сечении. Формулы для эквивалентного напряжения по теориям наибольших касательных напряжений и энергии формоизменения. Эквивалентный момент по этим теориям. Расчет бруса круглого поперечного сечения на изгиб с кручением.

Вопросы для самоконтроля

1. Объясните, почему в случае одновременного действия изгиба и кручения оценку прочности производят, применяя гипотезы прочности?
2. Приведите примеры деталей, работающих на изгиб с кручением.
3. Объясните, какие точки поперечного сечения являются опасными, если брус круглого поперечного сечения работает на изгиб с кручением.

Раздел 3. ЭЛЕМЕНТЫ КИНЕМАТИКИ И ДИНАМИКИ

Тема 3.1. Основные понятия кинематики

Кинематика как наука о механическом движении. Покой и движение. Траектория, путь, время, скорость и ускорение.

Вопросы для самоконтроля

1. Расскажите, что изучает кинематика.
2. Объясните, что такое система отсчёта.
3. Укажите, какой смысл имеют в кинематике понятия «покой» и «движение».
4. Дайте определение основных понятий кинематики: траектория, расстояние, путь и время.
5. Объясните, в чем заключается относительность понятий покоя и движения.

Тема 3.2. Кинематика точки

Способы задания движения точке. Средняя скорость и скорость в данный момент. Ускорение полное, нормальное и касательное.

Виды движения точки в зависимости от ускорения. Равномерное и равнопеременное движение точки, их уравнения. Кинематические графики и связь между ними.

Вопросы для самоконтроля

1. Покажите, какими способами может быть задан закон движения точки.
2. Укажите, как направлен вектор истинной скорости точки при криволинейном движении.
3. Укажите, как направлены касательное и нормальное ускорения точки.
4. Объясните, какое движение совершает точка, если касательное ускорение равно нулю, а нормальное не изменяется с течением времени.
5. Приведите кинематические графики при равномерном и равнопеременном движении.

Тема 3.3. Простейшие движения твердого тела

Поступательное движение твердого тела. Вращательное движение твердого тела вокруг неподвижной оси. Угловое перемещение. Уравнение вращательного движения. Средняя угловая скорость и угловая скорость в данный момент. Частота вращения.

Равномерное вращение. Уравнение равнопеременного вращения, основные формулы.

Линейные скорости и ускорения точек вращающегося тела. Выражение скорости, нормального, касательного и полного ускорений точек вращающегося тела через его угловую скорость и угловое ускорение.

Способы передачи вращательного движения. Передаточное отношение. Методика определения передаточных отношений простейших передач.

Вопросы для самоконтроля

1. Дайте определение понятию «поступательное движение» твердого тела.
2. Перечислите свойства поступательного движения твердого тела.

3. Дайте определение вращательного движения твердого тела вокруг неподвижной оси.
4. Запишите в общем виде уравнение вращательного движения твердого тела?
5. Напишите формулу, устанавливающую связь между частотой вращения тела и угловой скоростью вращения.
6. Дайте определение равномерного и равнопеременного вращательного движения.
7. Напишите дифференциальную зависимость, существующую между угловым перемещением, угловой скоростью и угловым ускорением.
8. Напишите зависимость, существующую между линейным перемещением, скоростью и ускорением точек вращающегося тела и угловым перемещением, скоростью и ускорением тела.
9. Сформулируете определение относительного, переносного, абсолютного движения точки. Приведите примеры относительного, переносного и абсолютного движения точки.
10. Сформулируйте теорему сложения скоростей при сложном движении точки.
11. Сформулируете определение плоскопараллельного движения твердого тела?
12. Покажите, на какие движения может быть разложено плоскопараллельное движение.
13. Дайте определение понятию «мгновенный центр скоростей».
14. Напишите, как определить абсолютную скорость любой точки тела, если положение ее мгновенного центра скоростей известно.

Тема 3.4. Основные понятия и аксиомы динамики

Предмет динамики. Аксиомы динамики: первая аксиома – принцип инерции; вторая аксиома – основной закон динамики точки. Масса материальной точки, единица измерения. Зависимость между массой и силой тяжести. Третья аксиома – закон независимости действия сил. Четвертая аксиома – закон равенства действия и противодействия.

Вопросы для самоконтроля

1. Сформулируйте первую аксиому динамики (принцип инерции) и вторую аксиому динамики (основной закон динамики точки).
2. Сформулируйте две основные задачи динамики.
3. Изложите третью аксиому динамики (закон независимости действия сил) и четвертую аксиому (закон равенства действия и противодействия).

Тема 3.5. Силы инерции. Метод кинетостатики

Свободная и несвободная материальные точки. Силы инерции при прямолинейном и криволинейном движении материальной точки.

Принцип Даламбера. Метод кинетостатики. Решение задач.

Вопросы для самоконтроля

1. Дайте определение понятию «сила инерции». Напишите, как определяется ее модуль и направление. К чему приложена сила инерции?
2. Сформулируйте принцип Даламбера.

Тема 3.6. Работа и мощность

Работа постоянной силы при прямолинейном движении, единицы ее измерения. Работа равнодействующей силы. Работа силы тяжести. Работа движущих сил и сил сопротивления. Мощность, единицы мощности.

Понятие о механическом коэффициенте полезного действия (КПД). Работа и мощность при вращательном движении тела. Трение скольжения и трение качения. Самоторможение.

Методика расчета типовых задач.

Вопросы для самоконтроля

1. Покажите, как определить работу постоянной силы на прямолинейном пути.
2. Дайте определение понятию «мощностью».
3. Дайте определение понятию «механический коэффициент полезного действия».
4. Напишите формулу, позволяющую определить вращающийся момент через передаваемую мощность и угловую скорость вращения тела при равномерном вращении.

Тема 3.7. Общие теоремы динамики. Основное уравнение динамики вращающегося тела

Понятия импульса силы, количества движения. Теорема об изменении количества движения точки. Кинетическая энергия точки. Теорема об изменении кинетической энергии точки. Понятие о механической системе. Внешние и внутренние силы системы. Основное уравнение динамики для вращающегося тела. Момент инерции тела.

Вопросы для самоконтроля

1. Дайте определение понятиям «импульс силы», «количество движения». Сформулируйте теорему об изменении количества движения точки.
2. Дайте определение понятию «кинетическая энергия точки». Сформулируйте теорему об изменении кинетической энергии материальной точки.
3. Сформулируйте основной закон динамики вращательного движения твердого тела.
4. Дайте определение понятию «момент инерции» тела. От чего зависит его значение?

Раздел 4. ДЕТАЛИ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

Тема 4.1. Основные понятия и определения

Звено, кинематическая пара, механизм, классификация механизмов.

Требования, предъявляемые к машинам, деталям машин.

Контактная прочность. Контактные напряжения и деформации. Формула Герца для определения контактных напряжений на площадке контакта цилиндров.

Вопросы для самоконтроля

1. Опишите, что рассматривается в разделе курса «Детали машин и механизмов».
2. Укажите различия между машиной и механизмом.
3. Объясните, какие детали называются деталями общего назначения.
4. Приведите условия, определяющие рациональность конструкции машин и ее узлов.
5. Поясните, каково значение взаимозаменяемости и стандартизации в машиностроении.
6. Объясните, что такое унификация деталей и сборочных единиц и каково ее значение в машиностроении.
7. Перечислите основные критерии работоспособности и расчета деталей машин.

Тема 4.2. Соединения деталей

Неразъемные соединения: заклепочное и сварное соединения, соединение пайкой, соединение склеиванием, запрессовкой, заформовкой, развальцовкой, обжимкой и загибкой. Их особенности и область применения.

Разъемные соединения: резьбовое, штифтовое, шпоночное, шлицевое. Их особенности, область применения.

Вопросы для самоконтроля

1. Объясните, что следует понимать под термином соединение. Перечислите типы соединений, которые Вы знаете.
2. Перечислит признаки, которые характеризуют неразъемное соединение.
3. Назовите главный признак заклёпочного соединения.
4. Назовите основные элементы заклёпки.
5. Назовите главные различия между сварочным и паяным швом.
6. Объясните, какое соединение называют резьбовым/шпоночным/шлицевым и, по каким признакам его можно отличить от других соединений.
7. Укажите, какими положительными качествами можно объяснить распространённость резьбовых/шпоночных соединений. Перечислите недостатки этих соединений.
8. Назовите, какие разновидности шпоночных/виды шлицевых соединений Вы знаете.
9. Объясните, как осуществляется центрирование деталей шлицевого соединения.

Тема 4.3. Механизмы поступательного, колебательного и прерывистого движения

Шарнирный четырехзвенник. Кривошипно-ползунный механизм, характер движения его звеньев. Назначение и область применения.

Кулачковые и рычажные механизмы, их назначение и область применения. Виды плоских кулачковых механизмов. Храповые и мальтийские механизмы, их устройство, принцип действия и область применения.

Вопросы для самоконтроля

1. Опишите устройство, принцип действия шарнирного четырехзвенника.
2. Опишите устройство, принцип действия кривошипно-ползунного механизма.
3. Опишите устройство, принцип действия кулачкового механизма.
4. Опишите устройство, принцип действия рычажного механизма.
5. Опишите устройство, принцип действия храпового механизма.
6. Опишите устройство, принцип действия мальтийского механизма.

Тема 4.4. Винтовые механизмы

Винтовые механизмы для передачи движения. Передачи с трением скольжения и качения; сравнительная оценка. КПД и передаточное число передачи. Материалы винтовой пары. Методика расчета передач с трением скольжения. Допускаемые напряжения.

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите основные преимущества и недостатки винтовых механизмов.
2. Укажите область применения винтовых механизмов.
3. Укажите, какую резьбу применяют в винтовых механизмах.
4. Укажите, какие материалы рекомендуют применять для гайки и винта.
5. Объясните, как можно повысить плавность работы и КПД винтового механизма.

Тема 4.5. Механизмы передачи вращательного движения

Классификация механических передач, их назначение, принцип действия. Основные кинематические и силовые соотношения для одно- и многоступенчатых передач.

Фрикционные передачи, их устройство, принцип работы, область применения, классификация. Кинематический и геометрический расчеты цилиндрической передачи, требуемая сила прижатия. Вариаторы.

Ременные передачи, их устройство, принцип работы, область применения. Классификация ременных передач, их сравнительная оценка. Материалы для их изготовления. Кинематический и геометрический расчеты.

Понятие об упругом скольжении и расчете по тяговой способности.

Зубчатые передачи, их устройство, принцип работы, область применения. Классификация зубчатых передач, их сравнительная оценка. Основные параметры эвольвентного зацепления.

Виды зубчатых колес, их элементы. Материалы для их изготовления. Способы изготовления. Краткие сведения о расчете на контактную прочность.

Червячные передачи, их устройство, принцип работы, область применения. Классификация червячных передач, их сравнительная оценка. КПД передач. Материалы для их изготовления. Кинематический и геометрический расчеты.

Цепная передача, ее особенности и область применения. Виды приводных цепей. Кинематический расчет. Понятие о расчете приводных цепей на износостойкость.

Вопросы для самоконтроля

1. Объясните, какой механизм называют фрикционной/зубчатой/червячной/цепной передачей.

2. Назовите основные классификационные признаки фрикционной/зубчатой/червячной/цепной передач.

3. Назовите примеры применения зубчатых передач.

4. Назовите достоинства и недостатки фрикционной/зубчатой/червячной/цепной передач, объясните, чем они обусловлены.

5. Назовите основные конструктивные параметры фрикционной/зубчатой/червячной/цепной передач, покажите, как они между собой соотносятся.

6. Назовите основные кинематические параметры фрикционной/зубчатой/червячной/цепной передач, покажите, как они между собой соотносятся.

7. Объясните, почему червячные передачи называют зубчато-винтовыми.

8. Укажите, от чего зависит коэффициент полезного действия червячного зацепления.

9. Назовите наименее прочный элемент червячного зацепления.

10. Назовите примеры применения цепных передач.

11. Назовите основные виды цепей (по их функциональному назначению), применяемых в промышленности.

12. Укажите, какой параметр цепи и цепной передачи является определяющим, какие параметры включены в маркировку цепей.

Тема 4.6. Валы и оси

Валы и оси, их назначение и классификация. Элементы конструкции. Материалы для их изготовления. Проектировочный и проверочный расчеты осей и валов. Конструктивные и технологические способы повышения сопротивления усталости. Методика расчета валов и осей.

Вопросы для самоконтроля

1. Укажите, в чем состоит основное отличие вала от оси.

2. Перечислите основные виды валов по назначению.

3. Укажите, какие валы бывают по форме поперечного сечения.

4. Назовите основные конструктивные элементы валов и осей.

5. Перечислите наиболее распространенные материалы, используемые для изготовления валов и осей.
6. Приведите основные критерии работоспособности валов и осей.
7. Объясните, в чем отличие критерия напряженности для расчета на выносливость от расчета на статическую прочность.
8. Укажите, в каком порядке выполняются этапы прочностного расчёта валов.
9. Укажите, какой диаметр определяется в проектировочном расчёте валов.
10. Перечислите мероприятия по повышению прочности валов.
11. Приведите основные критерии жесткости вала.
12. Укажите мероприятия по снижению опасности резонанса валов.

Тема 4.7. Опоры осей и валов (подшипники)

Опоры скольжения и качения. Конструкция опор, материалы для их изготовления, классификация. Сравнительная оценка опор.

Методики расчета опор качения на динамическую грузоподъемность.

Направляющие для поступательного движения, их конструкция. Материалы для их изготовления.

Выбор опор в зависимости от условий работы.

Вопросы для самоконтроля

1. Поясните для выполнения, каких функций предназначены опоры осей и валов.
2. Дайте определение подшипника.
3. Назовите основные классификационные признаки подшипников.
4. Объясните, какой элемент машины можно назвать подшипником скольжения, какие разновидности этих подшипников Вы знаете.
5. Назовите главную особенность и основные элементы подшипников качения.
6. Назовите основные достоинства и недостатки подшипников скольжения (качения).
7. Перечислите требования, предъявляемые к материалам, предназначенным для изготовления подшипников.
8. Назовите основные группы материалов, используемых для изготовления подшипников.
9. Сформулируйте требования, которые предъявляются к цапфе вала, работающей в подшипнике скольжения.
10. Назовите основные виды изнашивания подшипников скольжения (качения).
11. Назовите основные критерии работоспособности подшипников скольжения (качения).
12. Назовите основные допущения при расчёте подшипников скольжения.
13. Объясните, что необходимо знать при назначении подшипника качения во вновь проектируемый узел.

14. Укажите, как назначить необходимую долговечность подшипника, от каких параметров она зависит.

Тема 4.8. Муфты

Муфты, их назначение и классификация. Требования, предъявляемые к муфтам. Основные типы постоянных, сцепных, самоуправляемых и предохранительных муфт.

Краткие сведения о выборе методики расчета муфт.

Вопросы для самоконтроля

1. Объясните, для чего предназначены муфты.
3. Назовите основные классификационные признаки муфт.
4. Перечислите основные виды, достоинства и недостатки глухих муфт.
5. Укажите принципы конструкции и работы жестких муфт, шарнирных муфт, упругих муфт.
6. Опишите, как устроена и как работает упруго втулочно-пальцевая муфта (МУВП).
7. Объясните за счёт, каких сил работают фрикционные муфты.
8. Перечислите критерии прочности, которые применяют для фрикционных муфт.
9. Объясните термин «демпфирующая способность муфт».
10. Объясните основные принципы проектного и проверочного расчёта фрикционных муфт.
11. Объясните основной принцип подбора стандартных муфт.

3 Список используемых источников

[1] **Андреев, Г.М.** Теория механизмов и детали точных приборов / Г.М. Андреев, Б.М. Марков, Е.И. Петь. М., 1987.

[2] **Аркуша, А.И.** Техническая механика. Теоретическая механика и сопротивление материалов / А.И. Аркуша. М., 2000.

[3] **Борисов, С.И.** Основы технической механики и деталей механизмов приборов / С.И. Борисов, Ф.Г. Зуев. М., 1986.

[4] **Винокуров, А.И.** Сборник задач по сопротивлению материалов / А.И. Винокуров. М., 1990.

[5] **Народецкая, М.Э.** Техническая механика и детали машин и приборов / М.Э. Народецкая, Б.А. Торбал, А.И. Аркуша. М., 1982.

[6] **Соколовская, В.П.** Техническая механика. Лабораторный практикум / В.П. Соколовская, Н.Е. Сергеева, Е.Ю. Дреер. Минск, 1988.

[7] **Соколовская, В.П.** Механика. Практикум по решению задач / В.П. Соколовская. Минск, 2006.

[8] **Фролов, М.И.** Техническая механика. Детали машин / М.И. Фролов. М., 1990.

[9] Эрдеди, А.А. Техническая механика. Теоретическая механика и сопротивление материалов / А.А. Эрдеди, Ю.А. Медведев, Н.А. Эрдеди. М., 1991.

ГОСТ 2.770–68. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Элементы кинематики.

ГОСТ 21354–87. Передачи зубчатые, цилиндрические, эвольвентные внешнего зацепления. Расчет на прочность.

4 Требования к выполнению и оформлению домашней контрольной работы

К выполнению домашней контрольной работы следует приступать только после изучения общих методических указаний.

Контрольную работу рекомендуется выполнять в следующем порядке:

1. Внимательно прочитать содержание программы учебной дисциплины. Подобрать рекомендуемые учебники, техническую и справочную литературу.
2. Изучить постепенно материал каждой темы задания; закрепить изучаемый материал разбором методики расчета, приведенной в учебниках и в данных методических указаниях.
3. Если учащийся не может самостоятельно разобраться в каком-либо вопросе, то следует обратиться за консультацией в колледж согласно графику индивидуальных консультаций.
4. Вариант контрольного задания для каждого учащегося индивидуальный. Номер варианта определяется по двум последним цифрам шифра (номера зачетной книжки) учащегося. Например, учащийся, имеющий шифр 4309, выполняет вариант 09. Соответствие номера варианта и варианта для всех заданий домашней контрольной работы указаны в таблице 1.
5. Контрольная работа выполняется на стандартных листах формата А4. Листы должны быть пронумерованы для возможности ссылки на них преподавателя.
6. Работа должна быть выполнена одним из следующих способов:
 - машинописным, шрифт не менее 2,5мм, лентой только черного цвета (полужирная);
 - рукописным – чертёжным шрифтом по ГОСТ 2.304-81 с высотой букв и цифр не менее 2,5 мм. Цифры и буквы необходимо писать чётко чёрной тушью;
 - с применением печатающих и графических устройств вывода ЭВМ (ГОСТ 2.004–88). В соответствии с ГОСТ 2.004–88 и СТО ТУПК 001-2017 текст набирается шрифтом Times New Roman, размер шрифта 14, интервал одинарный.
7. Контрольная работа включает: титульный лист; содержание; основную часть; список использованных источников.
8. Титульный лист является первым листом и оформляется в соответствии с Приложением А.
9. Текстовая часть домашней контрольной работы оформляется в соответствии со Стандартом организации СТО ТУПК 001 – 2017.
10. Последовательность заполнения листов домашней контрольной работы должна выдерживаться в соответствии с заданием. Решение каждой задачи начинать с нового листа.
11. При выполнении заданий учащимся необходимо полностью записывать текст условия задачи своего варианта в соответствии с исходными данными; решение задачи пояснять необходимыми схемами, выполненными карандашом, с использованием чертёжных инструментов, соблюдая масштаб и ГОСТ, разделять решение подзаголовками, включать в него ссылки на теоремы, законы, правила и методы.

12. Задачи должны быть обязательно решены в общем виде, с последующей подстановкой числовых значений и вычислением результата с точностью до трех знаков после запятой.
13. Перед чистовым оформлением задачи следует тщательно проверить действия, правильность подстановки величин, соблюдение их размерности (вычисления производить только в единицах СИ), а также правдоподобность полученных результатов.
14. Все рисунки и таблицы должны быть пронумерованы сквозной нумерацией.
15. В конце домашней контрольной работы обязательно привести список использованных источников, поставить дату выполнения работы и личную подпись учащегося.
16. Необходимо оставлять чистые страницы для замечаний рецензента и для итоговой рецензии.
17. Домашняя контрольная работа помещается в папку с верхним прозрачным листом, либо в папку-скоросшиватель, либо листы работы могут быть скреплены с помощью степлера или ниток.
18. Контрольная работа, выполненная и оформленная в соответствии с настоящими указаниями и данными соответствующего варианта, высылается или сдается в колледж для проверки своевременно, в соответствии с учебным графиком. Контрольные работы, выполненные с нарушениями данных рекомендаций и требований, а также выполненные не в полном объеме или не по своему варианту, не рецензируются. Неаккуратное выполнение контрольной работы, несоблюдение принятой размерности и плохое выполнение чертежей и схем могут послужить причиной возвращения ее для исправления.
19. Получив контрольную работу после проверки, учащийся должен проанализировать все имеющиеся замечания рецензента и соответственно внести необходимые исправления и дополнения. Если работа не зачтена, то учащийся дорабатывает ее в соответствии с рекомендациями преподавателя. Доработка производится в той же контрольной работе после рецензии преподавателя.
20. Учащиеся, не имеющие зачета по домашней контрольной работе, к обязательной контрольной работе не допускаются.

Таблица 1 – Таблица вариантов

Номер варианта	Вариант заданий
01	01
02	02
03	03
04	04
05	05
06	06
07	07
08	08
09	09
10	10
11	11
12	12
13	13
14	14
15	15
16	16
17	17
18	18
19	19
20	20
21	21
22	22
23	23
24	24
25	25
26	26
27	27
28	28
29	29
30	30
31	01
32	02
33	03
34	04

Номер варианта	Вариант заданий
35	05
36	06
37	07
38	08
39	09
40	10
41	11
42	12
43	13
44	14
45	15
46	16
47	17
48	18
49	19
50	20
51	21
52	22
53	23
54	24
55	25
56	26
57	27
58	28
59	29
60	30
61	01
62	02
63	03
64	04
65	05
66	06
67	07
68	08

Номер варианта	Вариант заданий
69	09
70	10
71	11
72	12
73	13
74	14
75	15
76	16
77	17
78	18
79	19
80	20
81	21
82	22
83	23
84	24
85	25
86	26
87	27
88	28
89	29
90	30
91	01
92	02
93	03
94	04
95	05
96	06
97	07
98	08
99	09
00	10

5 Задания для домашней контрольной работы и методические указания по их выполнению

Задание 1. Для заданной консольной балки требуется:

1. Определить опорные реакции балки.
2. Выполнить проверку.

Схему балки принять по таблице 1.1 Числовые данные по таблице 1.2.

Таблица 1.1 – Схемы к заданию 1

	Вариант		Вариант
01		16	
02		17	
03		18	
04		19	
05		20	
06		21	
07		22	
08		23	

Окончание таблицы 1.1

Вариант		Вариант	
09		24	
10		25	
11		26	
12		27	
13		28	
14		29	
15		30	

Таблица 1.2 – Числовые данные к заданию 1

Вариант	a , м	b , м	c , м	d , м	F_1 , кН	F_2 , кН	q , кН/м	m , кН·м	α , град
01	1	2	1	2	60	45	15	27	30
02	5	4	3	3	35	35	30	36	45
03	1	5	1	5	30	30	15	30	60
04	1	1	5	2	80	75	25	21	75
05	4	5	5	1	45	60	30	27	30
06	3	3	1	2	75	80	30	42	45
07	4	4	5	4	45	85	20	24	60
08	1	5	2	1	35	65	30	18	75
09	4	2	4	3	50	55	10	42	30
10	2	5	2	2	60	30	15	42	45
11	3	5	3	5	60	65	30	42	60
12	1	1	3	2	30	40	25	27	75
13	1	2	5	5	40	40	25	42	30
14	5	1	5	2	75	60	20	45	45
15	3	1	5	2	80	35	30	36	60
16	1	5	1	4	85	45	15	45	75
17	1	1	5	4	50	30	25	15	30
18	1	2	2	3	55	70	10	15	45
19	3	2	3	4	35	25	15	18	60
20	5	2	3	4	50	40	20	39	75
21	4	4	3	5	35	60	20	15	30
22	4	4	3	3	55	55	20	27	45
23	2	2	2	1	40	25	10	24	60
24	4	3	5	1	60	85	30	42	75
25	3	5	4	2	25	80	30	33	30
26	2	2	4	5	65	65	15	27	45
27	4	5	3	1	45	45	25	45	60
28	2	3	5	5	55	80	20	24	75
29	5	5	2	4	85	75	30	33	30
30	2	1	5	2	60	90	15	45	45

Пример 1.1. Определить реакции в жесткой заделке балки (рисунок 1.1), если $F_1=10$ кН; $F_2=20$ кН; $F_3=30$ кН; $F_4=40$ кН; $q_1=5$ кН/м; $q_2=7$ кН/м; $m=30$ кН/м; $\alpha_1=30^\circ$; $\alpha_2=60^\circ$; $a=2$ м; $b=3$ м; $c=1$ м; $d=1,5$ м; $e=2,5$ м.

Решение. Рассмотрим равновесие балки AB под действием сил F_1, F_2, F_3, F_4 , момента m , равномерно распределенной нагрузки q_1, q_2 , а также реакций связей X_A, Y_A, Y_B . Составим три уравнения равновесия по первой форме. Равномерно распределенную нагрузку заменим соответствующими равнодействующими $Q_1 = q_1 \cdot (d+e) = 5 \cdot (1,5+2,5) = 20$ кН, которая приложена в середине участка DB и $Q_2 = q_2 \cdot (b+c) = 7 \cdot (3+1) = 28$ кН, которая приложена в середине участка CK .

$$\begin{cases} \sum F_{ix} = 0; & X_A - F_1 \cdot \cos \alpha_1 + F_2 \cdot \cos \alpha_2 = 0; \\ \sum F_{iy} = 0; & Y_A - F_1 \cdot \sin \alpha_1 + Q_2 - F_2 \cdot \sin \alpha_2 + F_4 - Q_1 - F_3 = 0; \\ \sum M_A(\bar{F}_k) = 0; & m_A + m - F_1 \cdot \sin \alpha_1 \cdot a + Q_2 \cdot (a + 0,5(b+c)) - F_2 \cdot \sin \alpha_2 \cdot (a+b) + \\ & + F_4 \cdot (a+b+c) - Q_1 \cdot (a+b+c+0,5(d+e)) - F_3 \cdot (a+b+c+d+e) = 0. \end{cases}$$

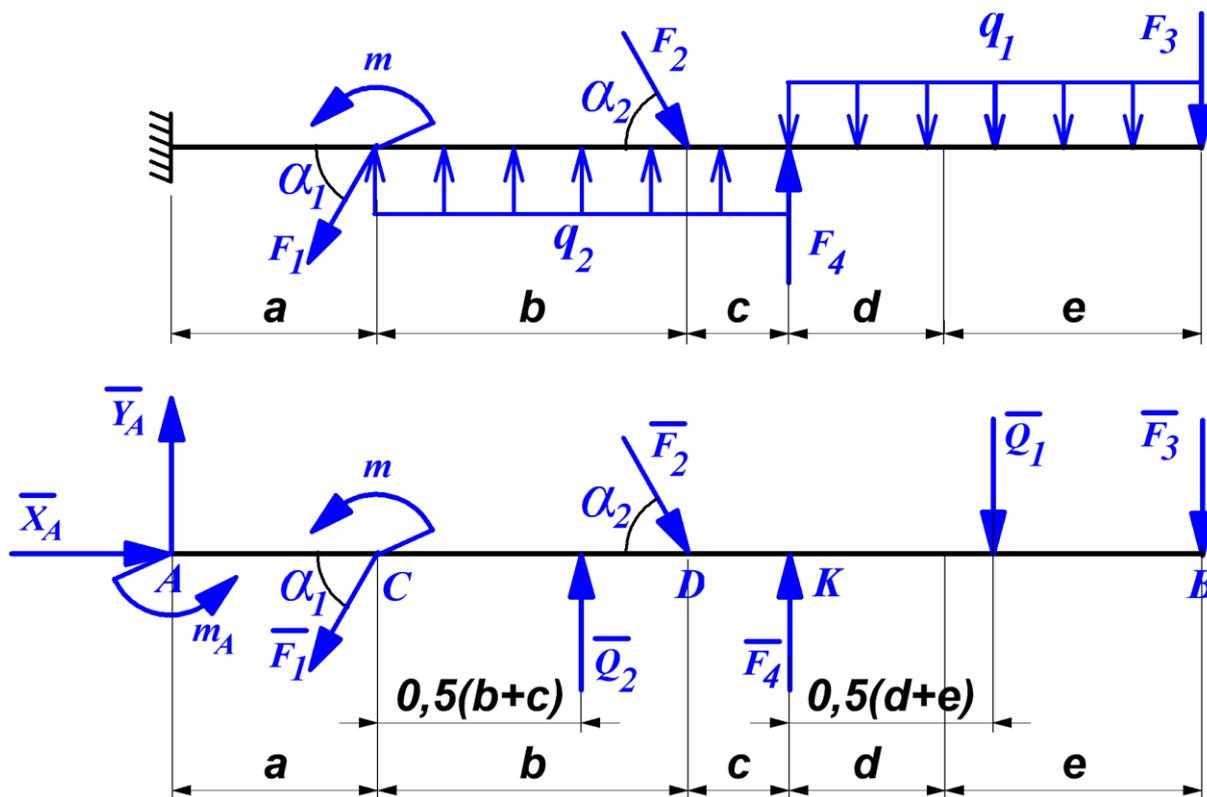


Рисунок 1.1 – Схема загрузки балки

Определим X_A :

$$X_A = F_1 \cdot \cos \alpha_1 - F_2 \cdot \cos \alpha_2 = 10 \cdot \cos 30^\circ - 20 \cdot \cos 60^\circ = -1,340 \text{ кН.}$$

Определим Y_B :

$$Y_A = F_1 \cdot \sin \alpha_1 - Q_2 + F_2 \cdot \sin \alpha_2 - F_4 + Q_1 + F_3 = 10 \cdot \sin 30^\circ - 28 + 20 \cdot \sin 60^\circ - 40 + 20$$

Определим m_A :

$$\begin{aligned} m_A &= -m + F_1 \cdot \sin \alpha_1 \cdot a - Q_2 \cdot (a + 0,5(b + c)) + F_2 \cdot \sin \alpha_2 \cdot (a + b) - \\ &\quad - F_4 \cdot (a + b + c) + Q_1 \cdot (a + b + c + 0,5(d + e)) + F_3 \cdot (a + b + c + d + e) = \\ &= -30 + 10 \cdot \sin 30^\circ \cdot 2 - 28 \cdot (2 + 0,5(3 + 1)) + 20 \cdot \sin 60^\circ \cdot (2 + 3) - \\ &\quad - 40 \cdot (2 + 3 + 1) + 20 \cdot (2 + 3 + 1 + 0,5(1,5 + 2,5)) + 30 \cdot (2 + 3 + 1 + 1,5 + 2,5) = \\ &= 174,603 \text{ кН}. \end{aligned}$$

Выполним проверку:

$$\begin{aligned} \sum M_B(\bar{F}_k) &= 0; \quad m_A + m - Y_A \cdot (a + b + c + d + e) + F_1 \cdot \sin \alpha_1 \cdot (b + c + d + e) - \\ &\quad - Q_2 \cdot (0,5(b + c) + d + e) + F_2 \cdot \sin \alpha_2 \cdot (c + d + e) - \\ &\quad - F_4 \cdot (d + e) + Q_1 \cdot 0,5(d + e) = 0; \\ 174,603 + 30 - 4,321 \cdot (2 + 3 + 1 + 1,5 + 2,5) + 10 \cdot \sin 30^\circ \cdot (3 + 1 + 1,5 + 2,5) - \\ &\quad - 28 \cdot (0,5(3 + 1) + 1,5 + 2,5) + 20 \cdot \sin 60^\circ \cdot (1 + 1,5 + 2,5) - \\ &\quad - 40 \cdot (1,5 + 2,5) + 20 \cdot 0,5(1,5 + 2,5) = -0,004 \approx 0. \end{aligned}$$

Ответ: $X_A = -1,340$ кН, $Y_A = 4,321$ кН, $m_A = 174,603$ кН·м

Знак «минус» указывает, что направление X_A противоположно направлению, показанному на рисунке 1.1.

Пример 1.2. Определить реакции опор, если $F=10$ кН, $q=2$ кН/м, $M=3$ кН/м, $\alpha=60^\circ$, $a=6$ м, $b=2$ м, $c=4$ м (рисунок 1.2).

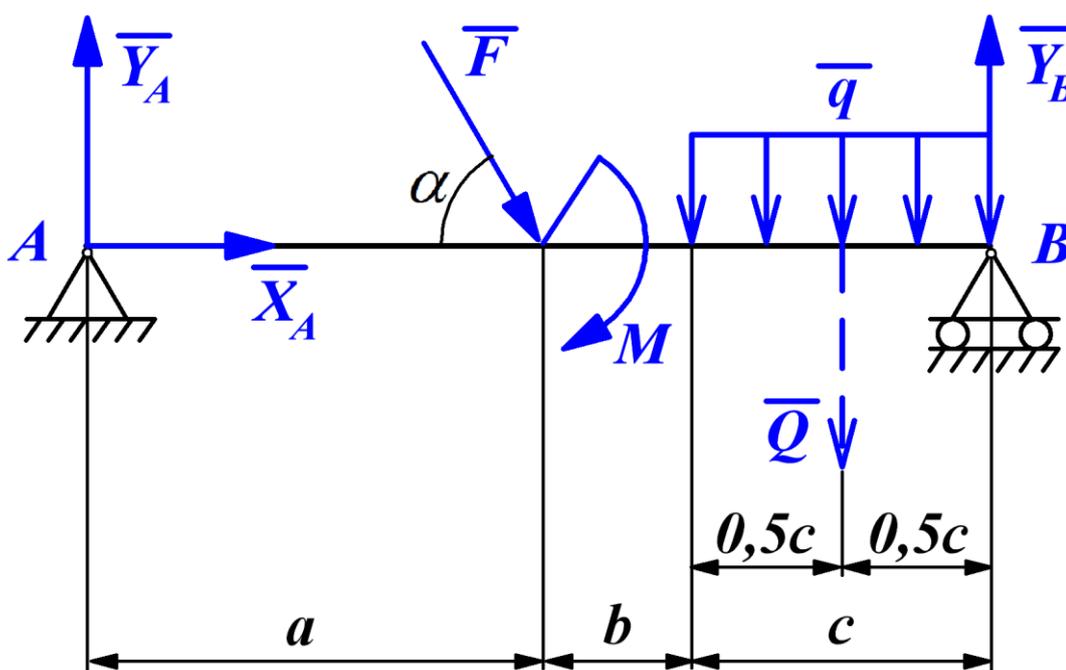


Рисунок 1.2 – Схема загрузки балки

Решение. Рассмотрим равновесие балки AB под действием силы F , момента M , равномерно распределенной нагрузки q и реакций связей X_A , Y_A , Y_B . Составим три уравнения равновесия по первой форме. Равномерно распределенную нагрузку заменим равнодействующей $Q = c \cdot q = 8$ кН, которая приложена в середине участка BD .

$$\begin{cases} \sum F_{ix} = 0; & X_A + F \cdot \cos \alpha = 0; \\ \sum F_{iy} = 0; & Y_A - F \cdot \sin \alpha - Q + Y_B = 0; \\ \sum M_A(\bar{F}_k) = 0; & -M - a \cdot F \cdot \sin \alpha - (a + b + 0,5 \cdot c) \cdot Q + (a + b + c) \cdot Y_B = 0. \end{cases}$$

Определим X_A :

$$X_A = -F \cdot \cos \alpha = -10 \cdot \cos 60^\circ = -5 \text{ кН}.$$

Определим Y_B :

$$Y_B = \frac{M + a \cdot F \cdot \sin \alpha + (a + b + 0,5 \cdot c)Q}{(a + b + c)} = \frac{3 + 6 \cdot 10 \cdot \sin 60^\circ + (6 + 2 + 0,5 \cdot 4) \cdot 8}{(6 + 2 + 4)} = 11,247 \text{ кН}.$$

Определим Y_A :

$$Y_A = F \cdot \sin \alpha + Q - Y_B = 10 \cdot \sin 60^\circ + 8 - 11,247 = 5,413 \text{ кН}.$$

Выполним проверку:

$$\begin{aligned} \sum M_B(\bar{F}_k) = 0; & \quad -M + (b + c)F \cdot \sin \alpha + \frac{c}{2}Q - (a + b + c)Y_A = 0; \\ & \quad -3 + (2 + 4) \cdot 10 \cdot \sin 60^\circ + \frac{4}{2}8 - (6 + 2 + 4) \cdot 5,413 = 0,006 \approx 0; \end{aligned}$$

Ответ: $X_A = -5$ кН, $Y_A = 5,413$ кН, $Y_B = 11,247$ кН.

Знак «минус» указывает, что направление X_A противоположно направлению, показанному на рисунке 1.2.

Пример 1.3. Определить реакции опор, если $P = 6$ кН, $q = 1$ кН/м, $M = 4$ кН/м, $a = 3$ м, $b = 6$ м, $c = 2$ м, $d = 4$ м (рисунок 1.3).

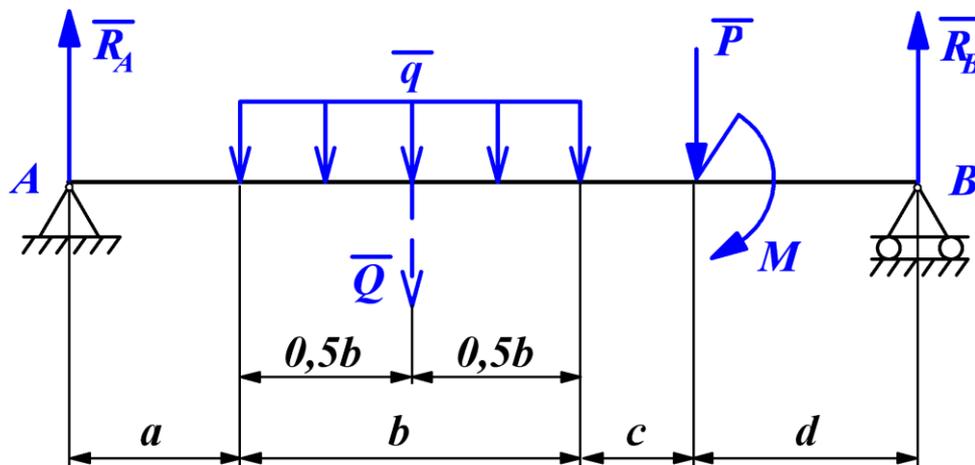


Рисунок 1.3 – Схема загрузки балки

Решение. Рассмотрим равновесие балки АВ под действием силы P , момента M , равномерно распределенной нагрузки интенсивности q и реакции связей Y_A , Y_B . Составим два уравнения равновесия по первой форме. Равномерно распределенную нагрузку заменим равнодействующей $Q = b \cdot q = 6 \cdot 1 = 6$ кН, которая приложена к середине нагруженного участка:

$$\begin{cases} \sum M_{iA} = 0; & -M - \left(a + \frac{b}{2}\right)Q - (a+b+c)P + (a+b+c+d)R_B = 0; \\ \sum M_{iB} = 0; & -M + \left(d+c+\frac{b}{2}\right)Q + d \cdot P - (a+b+c+d)R_A = 0. \end{cases}$$

Определим R_B :

$$R_B = \frac{M + \left(a + \frac{b}{2}\right)Q + (a+b+c)P}{a+b+c+d} = \frac{4 + \left(3 + \frac{6}{2}\right) \cdot 6 + (3+6+2) \cdot 6}{3+6+2+4} = 7,067 \text{ кН}.$$

Определим R_A :

$$R_A = \frac{-M + \left(d+c+\frac{b}{2}\right)Q + d \cdot P}{a+b+c+d} = \frac{-4 + \left(4+2+\frac{6}{2}\right) \cdot 6 + 4 \cdot 6}{3+6+2+4} = 4,933 \text{ кН}.$$

Выполним проверку:

$$\sum F_{iy} = 0; \quad R_A - Q - P + R_B = 4,933 - 6 - 6 + 7,067 = 0.$$

Ответ: $R_A = 4,933$ кН, $R_B = 7,067$ кН.

Задание 2. Для стального ступенчатого стержня требуется:

1. Записать для каждого участка стержня (в общем виде) аналитические выражения и определить продольные силы (N) и нормальные напряжения (σ).
 2. Построить эпюры продольных сил и нормальных напряжений.
 3. Определить деформации каждой ступени стержня, и стержня в целом.
 4. Произвести проверку стержня на прочность и жесткость.
- Схему стержня принять по таблице 2.1 Числовые данные по таблице 2.2.

Таблица 2.1 – Схемы к заданию 2

Вариант		Вариант		Вариант	
01		11		21	

Продолжение таблицы 2.1

	Вариант		Вариант		Вариант
03		13		23	
04		14		24	
05		15		25	

Продолжение таблицы 2.1

	Вариант	Вариант	Вариант
06		16	26
07		17	27
08		18	28

Окончание таблицы 2.1

Вариант		Вариант		Вариант	
09		19		29	
	10				20

Таблица 2.2 – Числовые данные к заданию 2

Вариант	a , м	b , м	c , м	q , кН/м	F_1 , кН	F_2 , кН	F_3 , кН	A_1 , см ²	A_2 , см ²	A_3 , см ²	E , $\times 10^5$ МПа	$[\sigma_P]$, МПа	$[\sigma_C]$, МПа	$\frac{ \Delta l }{l}$
01	3	5	5	25	55	35	10	10	30	50	1,6	130	120	1/250
02	3	1	5	30	70	85	20	30	40	50	1,7	140	130	1/270
03	4	5	5	20	70	30	15	10	30	60	1,8	150	140	1/290
04	1	1	5	20	45	75	30	20	30	50	1,9	160	150	1/310
05	5	4	4	10	85	85	15	20	40	60	2,0	170	120	1/330
06	3	3	2	15	25	75	25	20	40	60	2,1	180	130	1/250
07	3	5	3	15	55	70	30	20	40	50	2,2	130	140	1/270
08	3	5	1	15	40	50	15	10	30	60	1,6	140	150	1/290
09	5	5	1	10	60	40	20	30	60	70	1,7	150	120	1/310
10	5	1	5	10	70	85	25	10	20	30	1,8	160	130	1/330
11	3	3	5	25	35	30	15	30	40	50	1,9	170	140	1/250
12	3	5	5	15	30	25	15	30	50	80	2,0	180	150	1/270
13	5	3	1	20	80	30	10	30	60	90	2,1	130	120	1/290
14	4	2	4	25	35	60	10	20	40	50	2,2	140	130	1/310
15	1	1	4	20	85	80	15	10	20	50	1,6	150	140	1/330
16	2	4	3	30	50	25	10	20	30	40	1,7	160	150	1/250
17	5	2	2	15	75	60	10	30	60	70	1,8	170	120	1/270
18	3	1	2	15	70	35	15	10	30	60	1,9	180	130	1/290
19	1	1	5	30	65	25	15	10	40	70	2,0	130	140	1/310
20	5	1	3	30	45	65	25	10	30	60	2,1	140	150	1/330
21	4	5	2	15	35	50	15	20	40	60	2,2	150	120	1/250
22	4	2	3	10	45	75	20	20	40	60	1,6	160	130	1/270
23	1	2	5	15	65	25	20	10	20	50	1,7	170	140	1/290
24	4	3	5	25	85	65	10	20	40	60	1,8	180	150	1/310
25	5	1	5	15	75	50	30	30	40	60	1,9	130	120	1/330
26	4	1	2	15	70	85	15	10	20	30	2,0	140	130	1/250
27	5	4	1	25	50	65	20	10	20	30	2,1	150	140	1/270
28	2	3	3	10	35	25	25	20	30	60	2,2	160	150	1/290
29	3	4	2	10	70	50	25	20	50	60	1,6	170	120	1/310
30	3	4	5	30	80	40	20	30	50	70	1,7	180	130	1/330

Пример 2.1. Для стального ступенчатого стержня (рисунок 2.1) требуется:

1. Записать для каждого участка стержня (в общем виде) аналитические выражения и определить продольные силы (N) и нормальные напряжения (σ).
2. Построить эпюры продольных сил и нормальных напряжений.
3. Определить деформации каждой ступени стержня, и стержня в целом.
4. Произвести проверку стержня на прочность и жесткость.

Принять: $F_1 = 35$ кН; $F_2 = 25$ кН; $F_3 = 40$ кН; $q_1 = 10$ кН/м; $q_2 = 5$ кН/м; $a = 2,5$ м; $b = 2$ м; $c = 3,5$ м; $d = 3$ м; $A_1 = 50$ см²; $A_2 = 20$ см²; $A_3 = 10$ см²; $A_4 = 30$ см²; $E = 2 \cdot 10^5$ МПа; $[\sigma_p] = 160$ МПа; $[\sigma_c] = 120$ МПа; $\frac{|\Delta l|}{l} = \frac{1}{300}$.

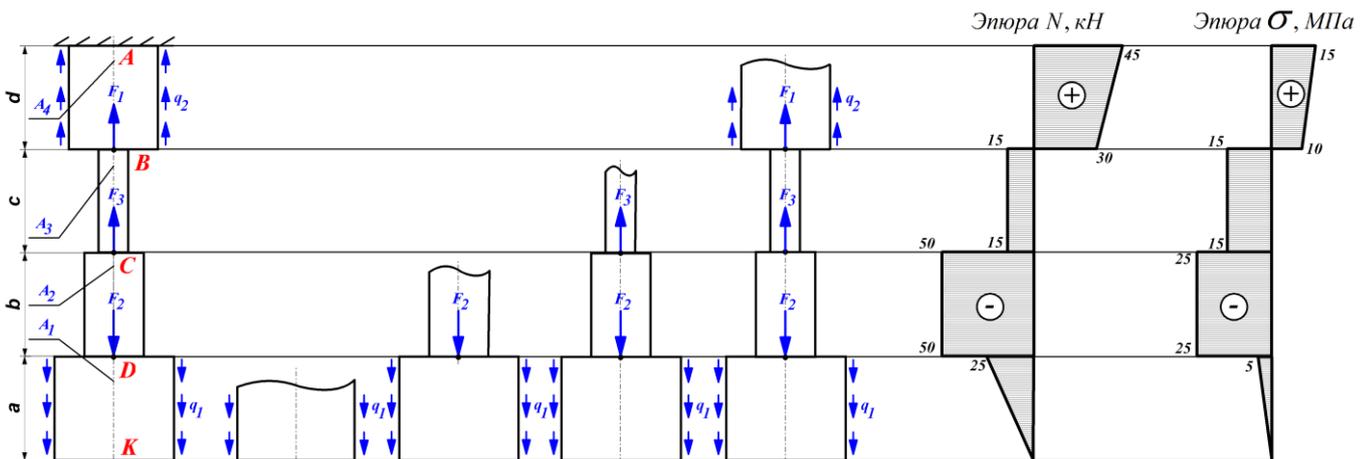


Рисунок 2.1

Решение. Разбиваем стержень на четыре участка: KD , DC , CB и BA . Растягивающие нагрузки считаем положительными, сжимающие – отрицательными.

1. Составляем аналитические выражения для определения продольной силы (N) на каждом участке стержня.

Участок 1 (KD): $0 \leq z \leq a$. $N_1 = q_1 \cdot z$;

при $z=0$; $N_1 = q_1 \cdot 0 = 0$;

при $z=a$; $N_1 = q_1 \cdot a = 10 \cdot 2,5 = 25$ кН.

Участок 2 (DC): $0 \leq z \leq b$.

$N_2 = q_1 \cdot a + F_2 = q_1 \cdot a + F_2 = 10 \cdot 2,5 + 25 = 50$ кН.

Участок 3 (CB): $0 \leq z \leq c$.

$N_3 = q_1 \cdot a + F_2 - F_3 = q_1 \cdot a + F_2 - F_3 = 10 \cdot 2,5 + 25 - 35 = 15$ кН.

Участок 4 (BA): $0 \leq z \leq d$. $N_4 = q_1 \cdot a + F_2 - F_3 - F_1 - q_2 \cdot z$;

при $z=0$;

$N_4 = q_1 \cdot a + F_2 - F_3 - F_1 - q_2 \cdot 0 = q_1 \cdot a + F_2 - F_3 - F_1 = 10 \cdot 2,5 + 25 - 35 - 45 = -30$ кН;

при $z=d$;

$N_4 = q_1 \cdot a + F_2 - F_3 - F_1 - q_2 \cdot d = q_1 \cdot a + F_2 - F_3 - F_1 - q_2 \cdot d =$
 $= 10 \cdot 2,5 + 25 - 35 - 45 - 5 \cdot 3 = -45$ кН.

По рассчитанным данным строим эпюру продольных сил (N).

2. Определяем нормальные напряжения (σ) на каждом участке стержня.

Участок 1 (KD): $0 \leq z \leq a$. $\sigma_1 = \frac{N_1}{A_1}$;

при $z=0$; $\sigma_1 = \frac{0}{50 \cdot 10^{-4}} = 0$;

при $z=a$; $\sigma_1 = \frac{25 \cdot 10^3}{50 \cdot 10^{-4}} = 5 \cdot 10^6 \text{ Па} = 5 \text{ МПа}$.

Участок 2 (DC): $0 \leq z \leq b$. $\sigma_2 = \frac{N_2}{A_2} = \frac{50 \cdot 10^3}{20 \cdot 10^{-4}} = 25 \cdot 10^6 \text{ Па} = 25 \text{ МПа}$.

Участок 3 (CB): $0 \leq z \leq c$. $\sigma_3 = \frac{N_3}{A_3} = \frac{15 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^{-4}} = 15 \cdot 10^6 \text{ Па} = 15 \text{ МПа}$.

Участок 4 (BA): $0 \leq z \leq d$. $\sigma_4 = \frac{N_4}{A_4}$;

при $z=0$; $\sigma_4 = \frac{-30 \cdot 10^3}{30 \cdot 10^{-4}} = -10 \cdot 10^6 \text{ Па} = -10 \text{ МПа}$.

при $z=d$; $\sigma_4 = \frac{-45 \cdot 10^3}{30 \cdot 10^{-4}} = -15 \cdot 10^6 \text{ Па} = -15 \text{ МПа}$.

По рассчитанным данным строим эпюру нормальных напряжений (σ).

3. Определяем деформации каждого из участков стержня.

Участок 4 (AB): $0 \leq z \leq d$.

$$\Delta l_{AB} = \frac{N_4 \cdot d}{E \cdot A_4} = \frac{\omega_4}{E \cdot A_4} = \frac{\left(\frac{-45-30}{2}\right) \cdot 10^3 \cdot 3}{2 \cdot 10^5 \cdot 10^6 \cdot 30 \cdot 10^{-4}} = -0,188 \cdot 10^{-3} \text{ м} = -0,188 \text{ мм};$$

где ω_4 – площадь эпюры (N) на участке AB.

Участок 3 (BC): $0 \leq z \leq c$.

$$\Delta l_{BC} = \frac{N_3 \cdot c}{E \cdot A_3} = \frac{15 \cdot 10^3 \cdot 3,5}{2 \cdot 10^5 \cdot 10^6 \cdot 10 \cdot 10^{-4}} = 0,263 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 0,263 \text{ мм}.$$

Участок 2 (DC): $0 \leq z \leq b$.

$$\Delta l_{CD} = \frac{N_2 \cdot b}{E \cdot A_2} = \frac{50 \cdot 10^3 \cdot 2}{2 \cdot 10^5 \cdot 10^6 \cdot 20 \cdot 10^{-4}} = 0,250 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 0,250 \text{ мм}.$$

Участок 1 (DK): $0 \leq z \leq a$.

$$\Delta l_{DK} = \frac{N_1 \cdot a}{E \cdot A_1} = \frac{\omega_1}{E \cdot A_1} = \frac{\left(\frac{25+0}{2}\right) \cdot 10^3 \cdot 2,5}{2 \cdot 10^5 \cdot 10^6 \cdot 50 \cdot 10^{-4}} = 0,031 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 0,031 \text{ мм}.$$

где ω_1 – площадь эпюры (N) на участке DK.

Определяем деформацию стержня в целом.

$$\Delta l = \Delta l_{AB} + \Delta l_{BC} + \Delta l_{CD} + \Delta l_{DK} = (-0,188 + 0,263 + 0,250 + 0,031) \cdot 10^{-3} = 0,356 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 0,356 \text{ мм.}$$

4. Проверка стержня на прочность и жесткость.

$$\sigma_P^{\max} = 25 \text{ МПа} \leq [\sigma_P] = 160 \text{ МПа};$$

$$|\sigma_C^{\max}| = 15 \text{ МПа} \leq [\sigma_C] = 120 \text{ МПа}.$$

Следовательно, прочность стержня обеспечена.

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{0,365 \cdot 10^{-3}}{2,5 + 2 + 3,5 + 3} = \frac{0,010}{300} \leq \frac{|\Delta l|}{l} = \frac{1}{300}$$

Следовательно, жесткость стержня обеспечена.

Пример 2.2. Для стального ступенчатого стержня (рисунок 2.2) требуется:

1. Записать для каждого участка стержня (в общем виде) аналитические выражения и определить продольные силы (N) и нормальные напряжения (σ).
2. Построить эпюры продольных сил и нормальных напряжений.
3. Определить деформации каждой ступени стержня, и стержня в целом.
4. Произвести проверку стержня на прочность и жесткость.

Принять: $F_1 = 30 \text{ кН}$; $F_2 = 40 \text{ кН}$; $F_3 = 25 \text{ кН}$; $F_4 = 55 \text{ кН}$; $q_1 = 20 \text{ кН/м}$; $q_2 = 25 \text{ кН/м}$; $q_3 = 50 \text{ кН/м}$; $q_4 = 20 \text{ кН/м}$; $a = 2,5 \text{ м}$; $b = 3 \text{ м}$; $c = 4,5 \text{ м}$; $d = 2 \text{ м}$; $e = 3 \text{ м}$; $A_1 = 20 \text{ см}^2$; $A_2 = 50 \text{ см}^2$; $A_3 = 25 \text{ см}^2$; $A_4 = 10 \text{ см}^2$; $A_5 = 15 \text{ см}^2$; $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$; $[\sigma_P] = 140 \text{ МПа}$; $[\sigma_C] = 110 \text{ МПа}$; $\frac{|\Delta l|}{l} = \frac{1}{500}$.

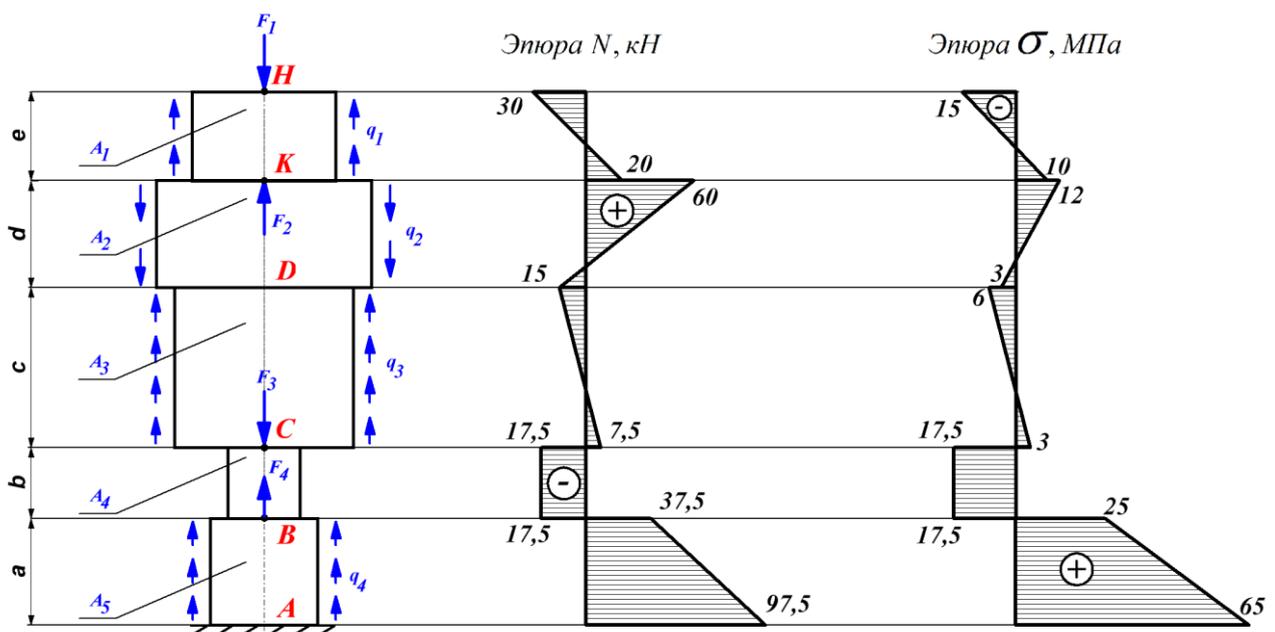


Рисунок 2.2

Решение. Разбиваем стержень на пять участков: *НК, КД, DC, СВ* и *ВА*. Растягивающие нагрузки считаем положительными, сжимающие – отрицательными.

1. Составляем аналитические выражения для определения продольной силы (*N*) на каждом участке стержня.

$$\text{Участок 1 (НК):} \quad 0 \leq z \leq e. \quad N_1 = -F_1 + q_1 \cdot z;$$

$$\text{при } z=0; \quad N_1 = -F_1 + q_1 \cdot 0 = -30 \text{ кН};$$

$$\text{при } z=e; \quad N_1 = -F_1 + q_1 \cdot e = -30 + 20 \cdot 2,5 = 20 \text{ кН}.$$

$$\text{Участок 2 (КД):} \quad 0 \leq z \leq d. \quad N_2 = -F_1 + q_1 \cdot e + F_2 - q_2 \cdot z;$$

$$\text{при } z=0; \quad N_2 = -F_1 + q_1 \cdot e + F_2 - q_2 \cdot 0 = -30 + 20 \cdot 2,5 + 40 = 60 \text{ кН};$$

$$\text{при } z=d; \quad N_2 = -F_1 + q_1 \cdot e + F_2 - q_2 \cdot d = -30 + 20 \cdot 2,5 + 40 - 25 \cdot 3 = -15 \text{ кН}.$$

$$\text{Участок 3 (DC):} \quad 0 \leq z \leq c. \quad N_3 = -F_1 + q_1 \cdot e + F_2 - q_2 \cdot d + q_3 \cdot z;$$

$$\text{при } z=0; \quad N_3 = -F_1 + q_1 \cdot e + F_2 - q_2 \cdot d + q_3 \cdot 0 = -30 + 20 \cdot 2,5 + 40 - 25 \cdot 3 = -15 \text{ кН};$$

$$\begin{aligned} \text{при } z=c; \quad N_3 &= -F_1 + q_1 \cdot e + F_2 - q_2 \cdot d + q_3 \cdot c = \\ &= -30 + 20 \cdot 2,5 + 40 - 25 \cdot 3 + 5 \cdot 4,5 = 7,5 \text{ кН}. \end{aligned}$$

$$\text{Участок 4 (СВ):} \quad 0 \leq z \leq b.$$

$$N_4 = -F_1 + q_1 \cdot e + F_2 - q_2 \cdot d + q_3 \cdot c - F_3 =$$

$$= -30 + 20 \cdot 2,5 + 40 - 25 \cdot 3 + 5 \cdot 4,5 - 25 = -17,5 \text{ кН}.$$

$$\text{Участок 5 (ВА):} \quad 0 \leq z \leq a.$$

$$N_5 = -F_1 + q_1 \cdot e + F_2 - q_2 \cdot d + q_3 \cdot c - F_3 + F_4 + q_4 \cdot z;$$

$$\begin{aligned} \text{при } z=0; \quad N_5 &= -F_1 + q_1 \cdot e + F_2 - q_2 \cdot d + q_3 \cdot c - F_3 + F_4 + q_4 \cdot 0 = \\ &= -30 + 20 \cdot 2,5 + 40 - 25 \cdot 3 + 5 \cdot 4,5 - 25 + 55 = 37,5 \text{ кН}; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{при } z=a; \quad N_5 &= -F_1 + q_1 \cdot e + F_2 - q_2 \cdot d + q_3 \cdot c - F_3 + F_4 + q_4 \cdot a = \\ &= -30 + 20 \cdot 2,5 + 40 - 25 \cdot 3 + 5 \cdot 4,5 - 25 + 55 + 20 \cdot 3 = 97,5 \text{ кН}. \end{aligned}$$

По рассчитанным данным строим эпюру продольных сил (*N*).

2. Определяем нормальные напряжения (σ) на каждом участке стержня.

$$\text{Участок 1 (НК):} \quad 0 \leq z \leq e. \quad \sigma_1 = \frac{N_1}{A_1};$$

$$\text{при } z=0; \quad \sigma_1 = \frac{-30 \cdot 10^3}{20 \cdot 10^{-4}} = -15 \cdot 10^6 \text{ Па} = -15 \text{ МПа};$$

$$\text{при } z=e; \quad \sigma_1 = \frac{20 \cdot 10^3}{20 \cdot 10^{-4}} = 10 \cdot 10^6 \text{ Па} = 10 \text{ МПа}.$$

$$\text{Участок 2 (КД):} \quad 0 \leq z \leq d. \quad \sigma_2 = \frac{N_2}{A_2};$$

$$\text{при } z=0; \quad \sigma_2 = \frac{60 \cdot 10^3}{50 \cdot 10^{-4}} = 12 \cdot 10^6 \text{ Па} = 12 \text{ МПа};$$

$$\text{при } z=d; \quad \sigma_2 = \frac{-15 \cdot 10^3}{50 \cdot 10^{-4}} = -3 \cdot 10^6 \text{ Па} = -3 \text{ МПа}.$$

$$\text{Участок 3 (DC):} \quad 0 \leq z \leq c. \quad \sigma_3 = \frac{N_3}{A_3};$$

$$\text{при } z=0; \quad \sigma_3 = \frac{-15 \cdot 10^3}{25 \cdot 10^{-4}} = -6 \cdot 10^6 \text{ Па} = -6 \text{ МПа};$$

$$\text{при } z=c; \quad \sigma_3 = \frac{7,5 \cdot 10^3}{25 \cdot 10^{-4}} = 3 \cdot 10^6 \text{ Па} = 3 \text{ МПа}.$$

$$\text{Участок 4 (CB):} \quad 0 \leq z \leq b.$$

$$\sigma_4 = \frac{N_4}{A_4} = \frac{-17,5 \cdot 10^3}{10 \cdot 10^{-4}} = -17,5 \cdot 10^6 \text{ Па} = -17,5 \text{ МПа}.$$

$$\text{Участок 5 (BA):} \quad 0 \leq z \leq a. \quad \sigma_5 = \frac{N_5}{A_5};$$

$$\text{при } z=0; \quad \sigma_5 = \frac{37,5 \cdot 10^3}{15 \cdot 10^{-4}} = 25 \cdot 10^6 \text{ Па} = 25 \text{ МПа};$$

$$\text{при } z=a; \quad \sigma_5 = \frac{67,5 \cdot 10^3}{15 \cdot 10^{-4}} = 65 \cdot 10^6 \text{ Па} = 65 \text{ МПа}.$$

По рассчитанным данным строим эпюру нормальных напряжений (σ).

3. Определяем деформации каждого из участков стержня.

Участок 5 (AB): $0 \leq z \leq a$.

$$\Delta l_{AB} = \frac{N_5 \cdot a}{E \cdot A_5} = \frac{\omega_5}{E \cdot A_5} = \frac{\left(\frac{97,5 + 37,5}{2}\right) \cdot 10^3 \cdot 3}{2,1 \cdot 10^5 \cdot 10^6 \cdot 15 \cdot 10^{-4}} = 0,643 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 0,643 \text{ мм};$$

где ω_5 – площадь эпюры (N) на участке AB.

Участок 4 (BC): $0 \leq z \leq b$.

$$\Delta l_{BC} = \frac{N_4 \cdot c}{E \cdot A_4} = \frac{-17,5 \cdot 10^3 \cdot 2}{2,1 \cdot 10^5 \cdot 10^6 \cdot 10 \cdot 10^{-4}} = -0,167 \cdot 10^{-3} \text{ м} = -0,167 \text{ мм}.$$

Участок 3 (CD): $0 \leq z \leq c$.

$$\Delta l_{CD} = \frac{N_3 \cdot c}{E \cdot A_3} = \frac{\omega_3}{E \cdot A_3} = \frac{\left(\frac{7,5 - 15}{2}\right) \cdot 10^3 \cdot 4,5}{2,1 \cdot 10^5 \cdot 10^6 \cdot 25 \cdot 10^{-4}} = -0,032 \cdot 10^{-3} \text{ м} = -0,032 \text{ мм};$$

где ω_3 – площадь эпюры (N) на участке CD.

Участок 2 (DK): $0 \leq z \leq d$.

$$\Delta l_{DK} = \frac{N_2 \cdot d}{E \cdot A_2} = \frac{\omega_2}{E \cdot A_2} = \frac{\left(\frac{-15 + 60}{2}\right) \cdot 10^3 \cdot 3}{2,1 \cdot 10^5 \cdot 10^6 \cdot 50 \cdot 10^{-4}} = 0,064 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 0,064 \text{ мм}.$$

где ω_2 – площадь эпюры (N) на участке DK.

Участок 1 (KH): $0 \leq z \leq e$.

$$\Delta l_{KH} = \frac{N_1 \cdot e}{E \cdot A_1} = \frac{\omega_1}{E \cdot A_1} = \frac{\left(\frac{20-30}{2}\right) \cdot 10^3 \cdot 2,5}{2,1 \cdot 10^5 \cdot 10^6 \cdot 20 \cdot 10^{-4}} = -0,030 \cdot 10^{-3} \text{ м} = -0,030 \text{ мм.}$$

где ω_1 – площадь эпюры (N) на участке *KH*.

Определяем деформацию стержня в целом.

$$\Delta l = \Delta l_{AB} + \Delta l_{BC} + \Delta l_{CD} + \Delta l_{DK} + \Delta l_{KH} = (0,643 - 0,167 - 0,032 + 0,064 - 0,030) \cdot 10^{-3} = 0,478 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 0,478 \text{ мм.}$$

4. Проверка стержня на прочность и жесткость.

$$\sigma_P^{\max} = 65 \text{ МПа} \leq [\sigma_P] = 140 \text{ МПа};$$

$$|\sigma_C^{\max}| = 17,5 \text{ МПа} \leq [\sigma_C] = 110 \text{ МПа.}$$

Следовательно, прочность стержня обеспечена.

$$\frac{\Delta l}{l} = \frac{0,478 \cdot 10^{-3}}{2,5 + 3 + 4,5 + 2 + 3} = \frac{0,016}{500} \leq \frac{|\Delta l|}{l} = \frac{1}{500}$$

Следовательно, жесткость стержня обеспечена.

Задание 3. На стальном валу, вращающемся с угловой скоростью ω , закреплены четыре шкива. Шкив 0 является приводным и передает ведомым шкивам (1, 2, 3) мощность P_0 . Требуется:

1. Определить мощности, передаваемые ведомыми шкивами.
2. Определить значения скручивающих моментов (подводимого к шкиву 0 и снимаемых со шкивов 1, 2, 3).
3. Построить эпюру крутящих моментов.
4. Определить диаметры каждого участка вала из условия прочности. Окончательно принимаемые значения округлить до ближайших стандартных.

Примечание. Стандартный диаметр вала (мм): 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 125, 140, 160, 170, 180, 200.

5. Построить эпюру углов закручивания относительно левого шкива на валу.

6. Проверить жесткость вала при кручении.

Схему вала принять по таблице 3.1 Числовые данные по таблице 3.2.

Таблица 3.1 – Схемы к заданию 3

Вариант		Вариант	
01		16	
02		17	
03		18	
04		19	
05		20	
06		21	
07		22	

Окончание таблицы 3.1

08		23	
09		24	
10		25	
11		26	
12		27	
13		28	
14		29	
15		30	

Таблица 3.2 – Числовые данные к заданию 3

Вариант	a , м	b , м	c , м	ω , рад/с	P_0 , кВт	P_1 , кВт	P_2 , кВт	P_3 , кВт	$[\tau]$, МПа	G , ГПа	$[\varphi^\circ]$, град/м
01	0,5	0,9	0,3	75	23	$0,3 \cdot P_0$	$0,3 \cdot P_0$	$0,4 \cdot P_0$	29	64	2,5
02	0,6	0,7	0,5	80	30	$0,5 \cdot P_0$	$0,4 \cdot P_0$	$0,1 \cdot P_0$	30	66	3,5
03	0,2	2,0	0,9	85	16	$0,4 \cdot P_0$	$0,4 \cdot P_0$	$0,2 \cdot P_0$	31	68	4,5
04	0,7	0,4	0,8	90	26	$0,3 \cdot P_0$	$0,3 \cdot P_0$	$0,4 \cdot P_0$	35	70	5,5
05	0,6	0,6	0,3	95	33	$0,4 \cdot P_0$	$0,3 \cdot P_0$	$0,3 \cdot P_0$	34	72	6,5
06	0,4	0,3	0,7	100	27	$0,4 \cdot P_0$	$0,2 \cdot P_0$	$0,4 \cdot P_0$	25	74	7,5
07	0,4	0,4	0,9	105	16	$0,2 \cdot P_0$	$0,6 \cdot P_0$	$0,2 \cdot P_0$	30	76	8,5
08	0,8	0,6	0,7	110	27	$0,2 \cdot P_0$	$0,2 \cdot P_0$	$0,6 \cdot P_0$	32	78	2,5
09	0,4	0,2	0,2	115	19	$0,5 \cdot P_0$	$0,2 \cdot P_0$	$0,3 \cdot P_0$	33	80	3,5
10	0,6	0,4	0,4	120	26	$0,5 \cdot P_0$	$0,3 \cdot P_0$	$0,2 \cdot P_0$	30	82	4,5
11	0,9	0,8	0,3	75	30	$0,5 \cdot P_0$	$0,4 \cdot P_0$	$0,1 \cdot P_0$	34	84	5,5
12	0,6	0,5	0,7	80	26	$0,3 \cdot P_0$	$0,4 \cdot P_0$	$0,3 \cdot P_0$	33	86	6,5
13	0,9	0,2	0,9	85	23	$0,6 \cdot P_0$	$0,2 \cdot P_0$	$0,2 \cdot P_0$	24	88	7,5
14	0,6	0,6	0,3	90	29	$0,5 \cdot P_0$	$0,2 \cdot P_0$	$0,3 \cdot P_0$	27	90	8,5
15	0,8	0,2	0,5	95	33	$0,3 \cdot P_0$	$0,3 \cdot P_0$	$0,4 \cdot P_0$	34	64	2,5
16	0,4	0,7	0,3	100	23	$0,4 \cdot P_0$	$0,5 \cdot P_0$	$0,1 \cdot P_0$	24	66	3,5
17	0,4	0,5	0,2	105	32	$0,5 \cdot P_0$	$0,2 \cdot P_0$	$0,3 \cdot P_0$	26	68	4,5
18	0,2	0,4	0,4	110	34	$0,2 \cdot P_0$	$0,2 \cdot P_0$	$0,6 \cdot P_0$	27	70	5,5
19	0,7	0,8	0,4	115	19	$0,4 \cdot P_0$	$0,2 \cdot P_0$	$0,4 \cdot P_0$	33	72	6,5
20	0,9	0,3	0,2	120	32	$0,5 \cdot P_0$	$0,2 \cdot P_0$	$0,3 \cdot P_0$	25	74	7,5
21	0,5	0,5	0,6	75	21	$0,3 \cdot P_0$	$0,3 \cdot P_0$	$0,4 \cdot P_0$	35	76	8,5
22	0,6	0,3	0,6	80	20	$0,3 \cdot P_0$	$0,4 \cdot P_0$	$0,3 \cdot P_0$	30	78	2,5
23	0,5	0,8	0,9	85	32	$0,5 \cdot P_0$	$0,4 \cdot P_0$	$0,1 \cdot P_0$	31	80	3,5
24	0,2	0,2	0,9	90	22	$0,1 \cdot P_0$	$0,4 \cdot P_0$	$0,5 \cdot P_0$	33	82	4,5
25	0,8	0,6	0,6	95	31	$0,3 \cdot P_0$	$0,5 \cdot P_0$	$0,2 \cdot P_0$	26	84	5,5
26	0,6	0,6	0,8	100	34	$0,8 \cdot P_0$	$0,1 \cdot P_0$	$0,1 \cdot P_0$	34	86	6,5
27	0,8	0,3	0,5	105	24	$0,2 \cdot P_0$	$0,4 \cdot P_0$	$0,4 \cdot P_0$	25	88	7,5
28	0,4	0,2	0,6	110	18	$0,5 \cdot P_0$	$0,3 \cdot P_0$	$0,2 \cdot P_0$	32	90	8,5
29	0,2	0,8	0,7	115	19	$0,7 \cdot P_0$	$0,1 \cdot P_0$	$0,2 \cdot P_0$	27	64	2,5
30	0,3	0,2	0,9	120	31	$0,5 \cdot P_0$	$0,2 \cdot P_0$	$0,3 \cdot P_0$	28	66	3,5

Пример 3.1. На стальном валу, вращающемся с угловой $\omega = 80$ рад/с (рисунок 3.1) закреплены четыре шкива. Шкив 0 является приводным и передает ведомым шкивам (1, 2, 3) мощность P_0 . Требуется:

1. Определить мощности, передаваемые ведомыми шкивами.
2. Определить значения скручивающих моментов (подводимого к шкиву 0 и снимаемых со шкивов 1, 2, 3).
3. Построить эпюру крутящих моментов.
4. Определить диаметры каждого участка вала из условия прочности. Окончательно принимаемые значения округлить до ближайших стандартных.

Примечание. Стандартный диаметр вала (мм): 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 125, 140, 160, 170, 180, 200.

5. Построить эпюру углов закручивания относительно левого шкива на валу.
6. Проверить жесткость вала при кручении.

Принять $P_0 = 20$ кВт; $P_1 = 0,3P_0$; $P_2 = 0,5P_0$; $P_3 = 0,2P_0$; $a = 0,1$ м; $b = 0,3$ м; $c = 0,1$ м; $d = 0,3$ м; $e = 0,2$ м; допустимое напряжение $[\tau] = 30$ МПа, относительный допустимый угол закручивания $[\varphi^\circ] = 2,5$ град/м, модуль упругости сдвига $G = 80$ ГПа.

Решение. Разбиваем вал на характерные участки: AB , BC , и CK . Границами участков являются сечения, в которых приложены внешние скручивающие моменты.

1. Определяем мощности, передаваемые ведомыми шкивами:

$$P_1 = 0,3 \cdot P_0 = 0,3 \cdot 20 = 6 \text{ кВт};$$

$$P_2 = 0,5 \cdot P_0 = 0,5 \cdot 20 = 10 \text{ кВт};$$

$$P_3 = 0,2 \cdot P_0 = 0,2 \cdot 20 = 4 \text{ кВт}.$$

2. Определяем внешние скручивающие моменты:

$$M_0 = \frac{P_0}{\omega} = \frac{2 \cdot 10^3}{80} = 25 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_1 = \frac{P_1}{\omega} = \frac{6 \cdot 10^3}{80} = 75 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_2 = \frac{P_2}{\omega} = \frac{10 \cdot 10^3}{80} = 125 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_3 = \frac{P_3}{\omega} = \frac{4 \cdot 10^3}{80} = 50 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

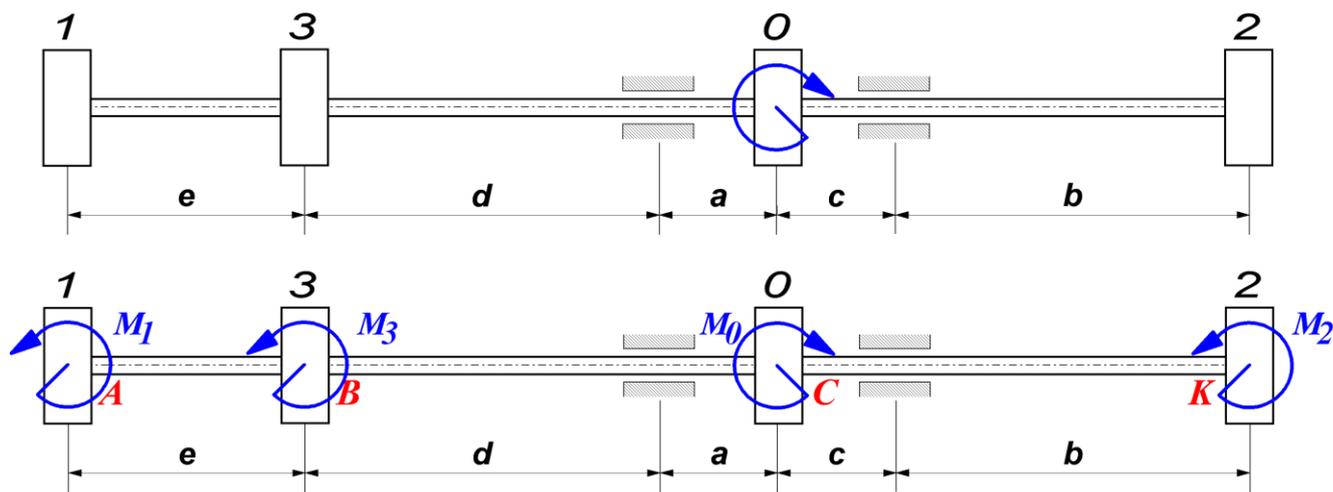
3. Используя метод сечений, находим крутящие моменты на каждом участке вала:

$$\text{Участок 1 (AB):} \quad M_{AB} = -M_1 = -75 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

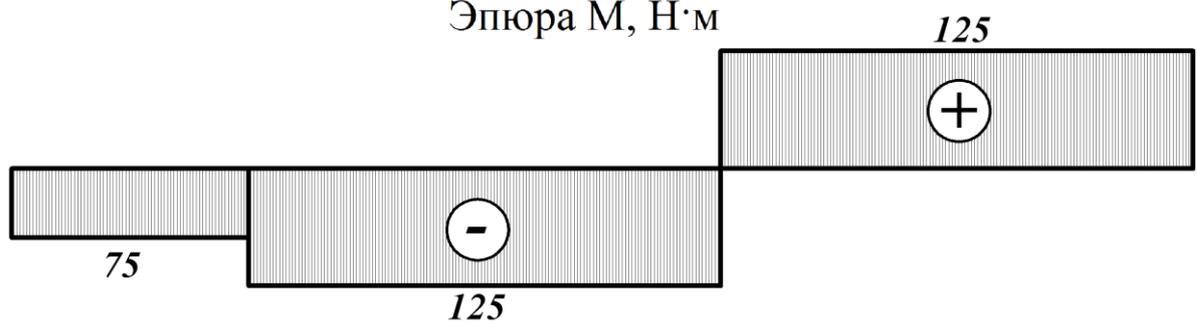
$$\text{Участок 2 (BC):} \quad M_{BC} = -M_1 - M_3 = -75 - 50 = -125 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$\text{Участок 3 (CK):} \quad M_{CK} = -M_1 - M_3 + M_0 = -75 - 50 + 250 = 125 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

По рассчитанным данным строим эпюру крутящих моментов.



Эпюра M, Н·м



Эпюра φ, град

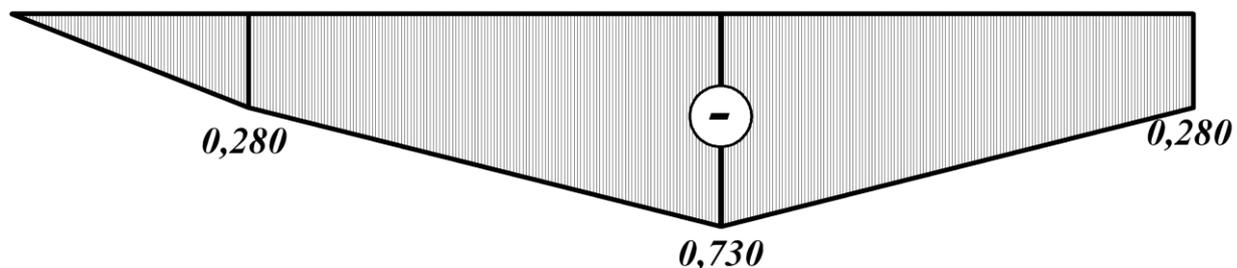


Рисунок 3.1

4. Определяем диаметры на каждом участке вала, если из условия прочности:

$$\tau = \frac{M}{W_P} = \frac{M}{\frac{\pi d^3}{16}} \leq [\tau] \Rightarrow d = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot M}{\pi [\tau]}}$$

Участок 1 (AB):

$$d_{AB} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot |M_{AB}|}{\pi [\tau]}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 75}{\pi \cdot 30 \cdot 10^6}} = 23,351 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 23,351 \text{ мм}, \text{ принимаем } d_{AB} = 25 \text{ мм}.$$

Участок 2 (BC):

$$d_{BC} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot |M_{BC}|}{\pi[\tau]}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 125}{\pi \cdot 30 \cdot 10^6}} = 27,686 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 27,686 \text{ мм}, \text{ принимаем } d_{BC} = 30 \text{ мм}.$$

Участок 3 (CK):

$$d_{BC} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot |M_{BC}|}{\pi[\tau]}} = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 125}{\pi \cdot 30 \cdot 10^6}} = 27,686 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 27,686 \text{ мм}, \text{ принимаем } d_{BC} = 30 \text{ мм}.$$

5. Для определения углов закручивания вала предварительно вычисляем полярные моменты инерции отдельных сечений вала:

$$\text{Участок 1 (AB): } I_{P_{AB}} = \frac{\pi \cdot d_{AB}^4}{32} = \frac{\pi \cdot 25^4}{32} = 38349,520 \text{ мм}^4 = 38,350 \cdot 10^{-9} \text{ м}^4;$$

$$\text{Участок 2 (BC): } I_{P_{BC}} = \frac{\pi \cdot d_{BC}^4}{32} = \frac{\pi \cdot 30^4}{32} = 79521,564 \text{ мм}^4 = 79,522 \cdot 10^{-9} \text{ м}^4;$$

$$\text{Участок 3 (CK): } I_{P_{CK}} = \frac{\pi \cdot d_{CK}^4}{32} = \frac{\pi \cdot 30^4}{32} = 79521,564 \text{ мм}^4 = 79,522 \cdot 10^{-9} \text{ м}^4.$$

Углы закручивания соответствующих участков вала:

Участок 1 (AB):

$$\varphi_{AB} = \frac{M_{AB} \cdot e \cdot 180^\circ}{\pi \cdot G \cdot I_{AB}} = \frac{-75 \cdot 0,2 \cdot 180^\circ}{\pi \cdot 80 \cdot 10^9 \cdot 38,350 \cdot 10^{-9}} = -0,280 \text{ град}.$$

Участок 2 (BC):

$$\varphi_{BC} = \frac{M_{BC} \cdot (d + a) \cdot 180^\circ}{\pi \cdot G \cdot I_{BC}} = \frac{-125 \cdot (0,3 + 0,1) \cdot 180^\circ}{\pi \cdot 80 \cdot 10^9 \cdot 79,522 \cdot 10^{-9}} = -0,450 \text{ град}.$$

Участок 3 (CK):

$$\varphi_{CK} = \frac{M_{CK} \cdot (c + b) \cdot 180^\circ}{\pi \cdot G \cdot I_{CK}} = \frac{125 \cdot (0,1 + 0,3) \cdot 180^\circ}{\pi \cdot 80 \cdot 10^9 \cdot 79,522 \cdot 10^{-9}} = 0,450 \text{ град}.$$

Тогда, считая левый конец вала зашечленным:

$$\varphi_A = 0;$$

$$\varphi_B = \varphi_A + \varphi_{AB} = 0 - 0,280 = -0,280 \text{ град};$$

$$\varphi_C = \varphi_B + \varphi_{BC} = -0,280 - 0,450 = -0,730 \text{ град};$$

$$\varphi_K = \varphi_C + \varphi_{CK} = -0,730 + 0,450 = -0,280 \text{ град}.$$

По рассчитанным данным строим эпюру углов закручивания вала.

6. Определяем относительные углы закручивания на отдельных участках вала:

$$\text{Участок 1 (AB):} \quad \varphi_{AB}^O = \frac{|\varphi_{AB}|}{e} = \frac{0,280}{0,2} = 1,401 \frac{\text{град}}{\text{м}};$$

$$\text{Участок 2 (BC):} \quad \varphi_{BC}^O = \frac{|\varphi_{BC}|}{d+a} = \frac{0,450}{0,3+0,1} = 1,126 \frac{\text{град}}{\text{м}};$$

$$\text{Участок 3 (CK):} \quad \varphi_{CK}^O = \frac{\varphi_{CK}}{c+b} = \frac{0,450}{0,1+0,3} = 1,126 \frac{\text{град}}{\text{м}}.$$

Проверка вала на жесткость:

$$\varphi_{\max}^O = \varphi_{AB}^O = 1,401 \frac{\text{град}}{\text{м}} < [\varphi^O] = 2,5 \frac{\text{град}}{\text{м}}, \text{ следовательно, жесткость вала}$$

обеспечена.

Задание 4. Для заданной балки требуется:

1. Записать аналитические выражения и определить поперечную силу Q и изгибающий момент M на каждом силовом участке.
2. Построить эпюры Q и M , выполнить проверку построения эпюр.
3. Подобрать размеры поперечного сечения балки двух типов: круглого и прямоугольного при заданном значении h/b .
4. Провести проверку прочности более рационального сечения по нормальным напряжениям.

Схему балки принять по таблице 4.1 Числовые данные по таблице 4.2.

Таблица 4.1 – Схемы к заданию 4

Вариант		Вариант	
1		16	
2		17	
3		18	
4		19	
5		20	
6		21	
7		22	
8		23	

Окончание таблицы 4.1

9		24	
10		25	
11		26	
12		27	
13		28	
14		29	
15		30	

Таблица 4.2 – Числовые данные к заданию 4

Вариант	a , м	b , м	c , м	d , м	F_1 , кН	F_2 , кН	q , кН/м	m , кН·м	$\frac{h}{b}$	$[\sigma]$, МПа
01	3	1	2	4	65	40	10	30	1,5	140
02	2	1	4	3	85	50	15	42	1,6	145
03	4	3	4	2	35	40	10	30	1,7	150
04	4	5	1	1	60	60	25	30	1,8	155
05	3	3	5	3	45	55	15	24	1,9	160
06	1	5	2	2	50	45	20	30	2,0	165
07	5	5	1	3	80	65	15	15	2,1	170
08	3	4	3	2	45	65	15	18	2,2	140
09	5	3	4	1	85	25	15	36	2,3	145
10	5	5	2	3	80	85	15	18	2,4	150
11	2	2	5	2	35	30	15	24	1,5	155
12	4	2	4	5	70	70	30	39	1,6	160
13	2	5	2	3	50	60	15	18	1,7	165
14	2	3	1	4	85	65	10	30	1,8	170
15	1	3	1	3	75	25	25	15	1,9	140
16	1	3	4	2	30	25	25	27	2,0	145
17	1	5	5	4	30	85	25	45	2,1	150
18	5	2	2	2	25	35	15	15	2,2	155
19	5	1	4	4	70	75	20	27	2,3	160
20	2	5	1	3	75	85	30	33	2,4	165
21	2	2	4	3	40	30	15	21	1,5	170
22	3	2	5	2	25	75	30	39	1,6	140
23	2	2	2	1	45	60	20	39	1,7	145
24	5	4	2	5	80	55	30	24	1,8	150
25	4	4	2	5	50	30	10	27	1,9	155
26	1	2	4	4	50	80	25	45	2,0	160
27	2	5	3	3	85	50	30	21	2,1	165
28	3	3	3	5	75	50	10	30	2,2	170
29	1	4	2	5	75	65	10	45	2,3	140
30	4	1	4	2	80	70	30	36	2,4	145

Пример 4. Для заданной балки (рисунок 4.1) требуется:

1. Записать аналитические выражения и определить поперечную силу Q и изгибающий момент M на каждом силовом участке.
2. Построить эпюры Q и M , выполнить проверку построения эпюр.
3. Подобрать размеры поперечного сечения балки двух типов: круглого и прямоугольного при заданном значении h/b .
4. Провести проверку прочности более рационального сечения по нормальным напряжениям.

Принять: $a = 1$ м; $b = 1$ м; $c = 1$ м; $F_1 = 20$ кН; $F_2 = 70$ кН; $F_3 = 10$ кН; $q_1 = 5$ кН/м; $q_2 = 12$ кН/м; $q_3 = 10$ кН/м; $m_1 = 40$ кН·м; $m_2 = 40$ кН·м; $[\sigma] = 160$ МПа; $h/b = 1,5$.

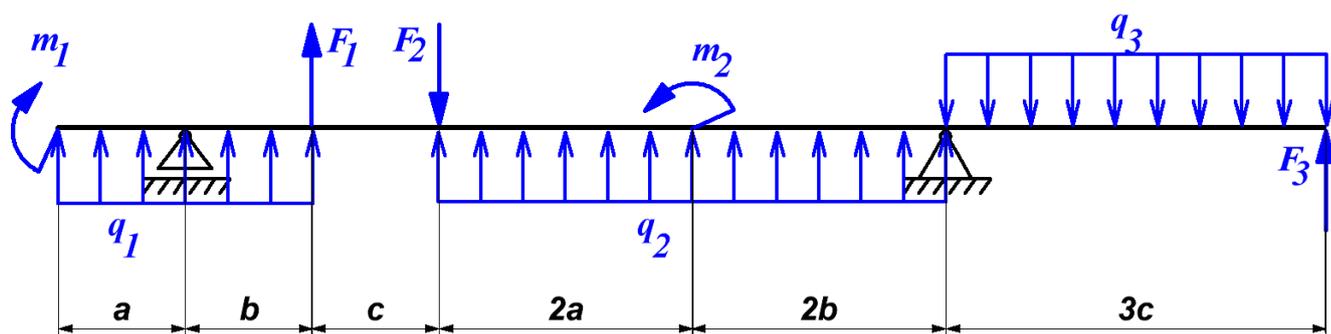


Рисунок 4.1 – Схема загрузки балки

Решение. Разбиваем балку AH (рисунок 4.2) на шесть силовых участков: AB , BC , CD , DE , EG , GH . Отбрасываем опоры B и G ; заменяем их действие реакциями опор R_B и R_G .

1. Определяем реакции опор B и G :

$$\sum M_B = 0;$$

$$-m_1 + m_2 - q_1 \cdot a \cdot \frac{a}{2} + q_1 \cdot b \cdot \frac{b}{2} + F_1 \cdot b - F_2 \cdot (b + c) + q_2 \cdot (2a + 2b) \cdot \left(b + c + \frac{(2a + 2b)}{2} \right) + R_G \cdot (b + c + 2a + 2b) - q_3 \cdot 3c \cdot \left(b + c + 2a + 2b + \frac{3c}{2} \right) + F_3 \cdot (b + c + 2a + 2b + 3c) = 0.$$

$$R_G = \frac{m_1 - m_2 + q_1 \cdot \frac{a^2}{2} - q_1 \cdot b \cdot \frac{b}{2} - F_1 \cdot b + F_2 \cdot (b + c) - q_2 \cdot (2a + 2b) \cdot \left(b + c + \frac{(2a + 2b)}{2} \right)}{b + c + 2a + 2b} + \frac{q_3 \cdot 3c \cdot \left(b + c + 2a + 2b + \frac{3c}{2} \right) - F_3 \cdot (b + c + 2a + 2b + 3c)}{b + c + 2a + 2b} =$$

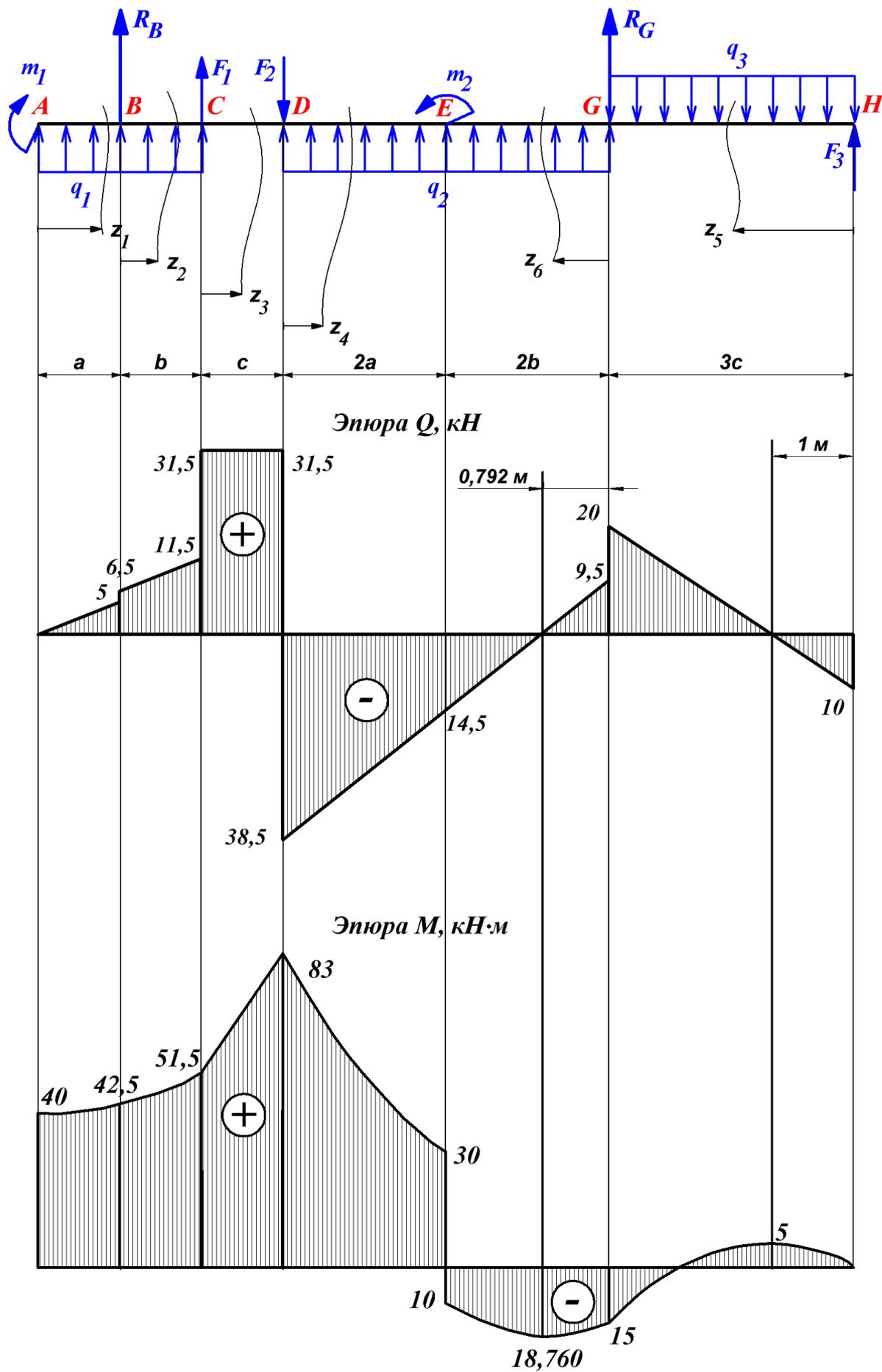


Рисунок 4.2

$$= \frac{40 - 40 + 5 \frac{1^2}{2} - 5 \frac{1^2}{2} - 20 \cdot 1 + 70 \cdot (1+1) - 12 \cdot (2 \cdot 1 + 2 \cdot 1) \cdot \left(1 + 1 + \frac{(2 \cdot 1 + 2 \cdot 1)}{2}\right)}{1 + 1 + 2 \cdot 1 + 2 \cdot 1} +$$

$$+ \frac{10 \cdot 3 \cdot 1 \cdot \left(1 + 1 + 2 \cdot 1 + 2 \cdot 1 + \frac{3 \cdot 1}{2}\right) - 10 \cdot (1 + 1 + 2 \cdot 1 + 2 \cdot 1 + 3 \cdot 1)}{1 + 1 + 2 \cdot 1 + 2 \cdot 1} = 10,5 \text{ кН}.$$

$$\sum M_G = 0;$$

$$- m_1 + m_2 - q_1 \cdot (a + b) \cdot \left(\frac{(a + b)}{2} + c + 2a + 2b\right) - R_B \cdot (b + c + 2a + 2b) -$$

$$- F_1 \cdot (c + 2a + 2b) + F_2 \cdot (2a + 2b) - q_2 \cdot (2a + 2b) \cdot \frac{(2a + 2b)}{2} - q_3 \cdot 3c \cdot \frac{3c}{2} + F_3 \cdot 3c = 0.$$

$$R_B = \frac{- m_1 + m_2 - q_1 \cdot (a + b) \cdot \left(\frac{(a + b)}{2} + c + 2a + 2b\right) - F_1 \cdot (c + 2a + 2b)}{b + c + 2a + 2b} +$$

$$+ \frac{F_2 \cdot (2a + 2b) - q_2 \cdot (2a + 2b) \cdot \frac{(2a + 2b)}{2} - q_3 \cdot 3c \cdot \frac{3c}{2} + F_3 \cdot 3c}{b + c + 2a + 2b} =$$

$$= \frac{-40 + 40 - 5 \cdot (1 + 1) \cdot \left(\frac{1 + 1}{2} + 1 + 2 \cdot 1 + 2 \cdot 1\right) - 20 \cdot (1 + 2 \cdot 1 + 2 \cdot 1)}{1 + 1 + 2 \cdot 1 + 2 \cdot 1} +$$

$$+ \frac{70 \cdot (2 \cdot 1 + 2 \cdot 1) - 12 \cdot (2 \cdot 1 + 2 \cdot 1) \cdot \frac{(2 \cdot 1 + 2 \cdot 1)}{2} - 10 \cdot 3 \cdot 1 \cdot \frac{3 \cdot 1}{2} + 10 \cdot 3 \cdot 1}{1 + 1 + 2 \cdot 1 + 2 \cdot 1} = 1,5 \text{ кН}.$$

Выполняем проверку:

$$\sum Y = 0; \quad q_1 \cdot (a + b) + R_B + F_1 - F_2 + q_2 \cdot (2a + 2b) + R_G - q_3 \cdot 3c + F_3 =$$

$$= 5 \cdot (1 + 1) + 1,5 + 20 - 70 + 12 \cdot (2 \cdot 1 + 2 \cdot 1) + 10,5 - 10 \cdot 3 \cdot 1 + 10 = 0.$$

Следовательно, реакции опор определены, верно.

2. Записываем аналитические выражения для определения поперечной силы Q и изгибающего момента M на каждом силовом участке:

Участок 1 (AB): $0 \leq z_1 \leq a$, (слева)

$$Q_1 = q_1 \cdot z_1;$$

$$\text{при } z_1 = 0; \quad Q_1 = q_1 \cdot 0 = 5 \cdot 0 = 0;$$

$$\text{при } z_1 = a; \quad Q_1 = q_1 \cdot a = 5 \cdot 1 = 5 \text{ кН}.$$

$$M_1 = m_1 + q_1 \cdot z_1 \cdot \frac{z_1}{2};$$

при $z_I=0$; $M_1 = m_1 + q_1 \cdot 0 = 40 + 5 \cdot 0 = 40 \text{ кН} \cdot \text{м}$;

при $z_I=a$; $M_1 = m_1 + q_1 \cdot \frac{a^2}{2} = 40 + 5 \cdot \frac{1^2}{2} = 42,5 \text{ кН} \cdot \text{м}$.

Участок 2 (BC): $0 \leq z_2 \leq b$, (слева)

$$Q_2 = q_1 \cdot (a + z_2) + R_B;$$

при $z_2=0$; $Q_2 = q_1 \cdot (a + z_2) + R_B = 5 \cdot (1 + 0) + 1,5 = 6,5 \text{ кН}$;

при $z_2=b$; $Q_2 = q_1 \cdot (a + z_2) + R_B = 5 \cdot (1 + 1) + 1,5 = 11,5 \text{ кН}$.

$$M_2 = m_1 + q_1 \cdot (a + z_2) \cdot \frac{(a + z_2)}{2} + R_B \cdot z_2;$$

при $z_2=0$; $M_2 = m_1 + q_1 \cdot \frac{(a + 0)^2}{2} + R_B \cdot 0 = 40 + 5 \cdot \frac{1^2}{2} = 42,5 \text{ кН} \cdot \text{м}$;

при $z_2=b$; $M_2 = m_1 + q_1 \cdot \frac{(a + b)^2}{2} + R_B \cdot b = 40 + 5 \cdot \frac{(1 + 1)^2}{2} + 1,5 \cdot 1 = 51,5 \text{ кН} \cdot \text{м}$.

Участок 3 (CD): $0 \leq z_3 \leq c$, (слева)

$$Q_3 = q_1 \cdot (a + b) + R_B + F_1 = 5 \cdot (1 + 1) + 1,5 + 20 = 31,5 \text{ кН}.$$

$$M_3 = m_1 + q_1 \cdot (a + b) \cdot \left(\frac{(a + b)}{2} + z_3 \right) + R_B \cdot (b + z_3) + F_1 \cdot z_3;$$

при $z_3=0$;

$$\begin{aligned} M_3 &= m_1 + q_1 \cdot (a + b) \cdot \left(\frac{(a + b)}{2} + 0 \right) + R_B \cdot (b + 0) + F_1 \cdot 0 = \\ &= 40 + 5 \cdot \frac{(1 + 1)^2}{2} + 1,5 \cdot 1 = 51,5 \text{ кН} \cdot \text{м}; \end{aligned}$$

при $z_3=c$;

$$\begin{aligned} M_3 &= m_1 + q_1 \cdot (a + b) \cdot \left(\frac{(a + b)}{2} + c \right) + R_B \cdot (b + c) + F_1 \cdot c = \\ &= 40 + 5 \cdot (1 + 1) \cdot \left(\frac{(1 + 1)}{2} + 1 \right) + 1,5 \cdot (1 + 1) + 20 \cdot 1 = 83 \text{ кН} \cdot \text{м}. \end{aligned}$$

Участок 4 (DE): $0 \leq z_4 \leq 2a$, (слева)

$$Q_4 = q_1 \cdot (a + b) + R_B + F_1 - F_2 + q_2 \cdot z_4;$$

при $z_4=0$;

$$Q_4 = q_1 \cdot (a + b) + R_B + F_1 - F_2 + q_2 \cdot 0 = 5 \cdot (1 + 1) + 1,5 + 20 - 70 = -38,5 \text{ кН};$$

при $z_4=2a$;

$$Q_4 = q_1 \cdot (a + b) + R_B + F_1 - F_2 + q_2 \cdot 2a = 5 \cdot (1 + 1) + 1,5 + 20 - 70 + 12 \cdot 2 \cdot 1 = -14,5 \text{ кН}.$$

$$M_4 = m_1 + q_1 \cdot (a+b) \cdot \left(\frac{(a+b)}{2} + c + z_4 \right) + R_B \cdot (b+c+z_4) + F_1 \cdot (c+z_4) - F_2 \cdot z_4 + q_2 \cdot z_4 \cdot \frac{z_4}{2};$$

при $z_4=0$;

$$M_4 = m_1 + q_1 \cdot (a+b) \cdot \left(\frac{(a+b)}{2} + c + 0 \right) + R_B \cdot (b+c+0) + F_1 \cdot (c+0) - F_2 \cdot 0 + q_2 \cdot 0 =$$

$$= 40 + 5 \cdot (1+1) \cdot \left(\frac{(1+1)}{2} + 1 \right) + 1,5 \cdot (1+1) + 20 \cdot 1 = 83 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

при $z_4=2a$;

$$M_4 = m_1 + q_1 \cdot (a+b) \cdot \left(\frac{(a+b)}{2} + c + 2a \right) + R_B \cdot (b+c+2a) + F_1 \cdot (c+2a) - F_2 \cdot 2a + q_2 \cdot \frac{(2a)^2}{2} =$$

$$= 40 + 5 \cdot (1+1) \cdot \left(\frac{(1+1)}{2} + 1 + 2 \cdot 1 \right) + 1,5 \cdot (1+1+2 \cdot 1) + 20 \cdot (1+2 \cdot 1) - 70 \cdot 2 \cdot 1 + 12 \cdot \frac{(2 \cdot 1)^2}{2} =$$

$$= 30 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Участок 5 (HG): $0 \leq z_5 \leq 3c$, (справа)

$$Q_5 = -F_3 + q_3 \cdot z_5;$$

$$\text{при } z_5=0; \quad Q_5 = -F_3 + q_3 \cdot 0 = -10 + 10 \cdot 0 = -10 \text{ кН};$$

$$\text{при } z_5=3c; \quad Q_5 = -F_3 + q_3 \cdot 3c = -10 + 10 \cdot 3 \cdot 1 = 20 \text{ кН}.$$

$$M_5 = F_3 \cdot z_5 - q_3 \cdot z_5 \cdot \frac{z_5}{2};$$

$$\text{при } z_5=0; \quad M_5 = F_3 \cdot 0 - q_3 \cdot 0 = 0;$$

$$\text{при } z_5=3c; \quad M_5 = F_3 \cdot 3c - q_3 \cdot \frac{(3c)^2}{2} = 10 \cdot 3 \cdot 1 - 10 \cdot \frac{(3 \cdot 1)^2}{2} = -15 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Определим экстремум М на текущем участке:

$$Q_5 = 0; \quad \Rightarrow \quad -F_3 + q_3 \cdot z_5 = 0; \quad \Rightarrow \quad z_5 = \frac{F_3}{q_3} = \frac{10}{10} = 1 \text{ м};$$

$$M_5^{\text{ЭКС}} = 10 \cdot 1 - 10 \cdot \frac{1^2}{2} = 5 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Участок 6 (GE): $0 \leq z_6 \leq 2b$, (справа)

$$Q_6 = -F_3 + q_3 \cdot 3c - R_G - q_2 \cdot z_6;$$

при $z_6=0$;

$$Q_6 = -F_3 + q_3 \cdot 3c - R_G - q_2 \cdot 0 = -10 + 10 \cdot 3 \cdot 1 - 10,5 - 12 \cdot 0 = 9,5 \text{ кН};$$

при $z_6=2b$;

$$Q_6 = -F_3 + q_3 \cdot 3c - R_G - q_2 \cdot 2b = -10 + 10 \cdot 3 \cdot 1 - 10,5 - 12 \cdot 2 \cdot 1 = -14,5 \text{ кН}.$$

$$M_6 = F_3 \cdot (3c + z_6) - q_3 \cdot 3c \cdot \left(z_6 + \frac{3c}{2} \right) + R_G \cdot z_6 + q_2 \cdot z_6 \cdot \frac{z_6}{2};$$

при $z_6=0$;

$$M_6 = F_3 \cdot (3c + 0) - q_3 \cdot 3c \cdot \left(0 + \frac{3c}{2} \right) + R_G \cdot 0 + q_2 \cdot 0 =$$

$$= 10 \cdot 3 \cdot 1 - 10 \cdot \frac{(3 \cdot 1)^2}{2} + 10,5 \cdot 0 + 12 \cdot 0 = -15 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

при $z_6=2b$;

$$M_6 = F_3 \cdot (3c + 2b) - q_3 \cdot 3c \cdot \left(2b + \frac{3c}{2} \right) + R_G \cdot 2b + q_2 \cdot \frac{(2b)^2}{2} =$$

$$= 10 \cdot (3 \cdot 1 + 2 \cdot 1) - 10 \cdot 3 \cdot 1 \cdot \left(2 \cdot 1 + \frac{3 \cdot 1}{2} \right) + 10,5 \cdot 2 \cdot 1 + 12 \cdot \frac{(2 \cdot 1)^2}{2} = -10 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Определим экстремум M на текущем участке:

$$Q_6 = 0; \Rightarrow -F_3 + q_3 \cdot 3c - R_G - q_2 \cdot z_6 = 0; \Rightarrow$$

$$z_6 = \frac{-F_3 + q_3 \cdot 3c - R_G}{q_2} = \frac{-10 + 10 \cdot 3 \cdot 1 - 10,5}{12} = 0,792 \text{ м}.$$

$$M_6^{\text{ЭКС}} = 10 \cdot (3 \cdot 1 + 0,792) - 10 \cdot 3 \cdot 1 \cdot \left(0,792 + \frac{3 \cdot 1}{2} \right) + 10,5 \cdot 0,792 + 12 \cdot \frac{0,792^2}{2} =$$

$$= -18,760 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

3. По рассчитанным данным строим эпюры Q и M .

Основные правила, используемые для проверки правильности построения эпюр, формулируются следующим образом:

1. На участках, свободных от распределенной нагрузки, эпюра Q ограничена прямыми линиями, параллельными базовой (поперечная сила постоянна), а эпюра M – наклонными (изгибающий момент изменяется по линейному закону).

В данном примере это участок CD .

2. На тех участках, где $Q=0$, изгибающий момент M постоянен.

В данном примере такие участки отсутствуют.

3. На участке с равномерно распределенной нагрузкой эпюра Q – наклонная прямая (т.е. Q будет изменяться по линейному закону), а эпюра M – парабола (квадратичная) выпуклостью противоположно направлению действия нагрузки q .

В данном примере это участки: AC , DG , GH .

4. В тех сечениях, где к балке приложены сосредоточенные силы: а) на эпюре Q будут скачки на величину и в направлении приложенных сил; б) на эпюре M будут изломы, причем острие излома направлено противоположно действию силы.

В данном примере это сечения: B , C , D , G , H .

5. В сечении балки, где приложен сосредоточенный момент, эпюра M имеет скачок на величину этого момента. На эпюре Q действие сосредоточенного момента не отражается.

В данном примере это сечения: A , E .

6. На участках, где $Q > 0$, момент M возрастает, то есть положительные ординаты увеличиваются, отрицательные – уменьшаются. На участках, где поперечная сила $Q < 0$, момент M убывает.

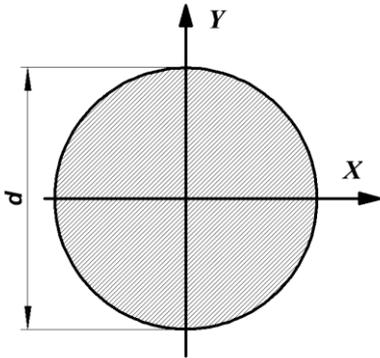
В данном примере это участки: AC, DG, GH .

7. В том сечении, где эюра Q , изменяясь, пересекает базисную линию (т.е. поперечная сила $Q=0$), изгибающий момент достигает экстремума (max или min). Касательная к линии, ограничивающей эюру M в этом сечении, параллельна оси эюры (т.е. оси балки).

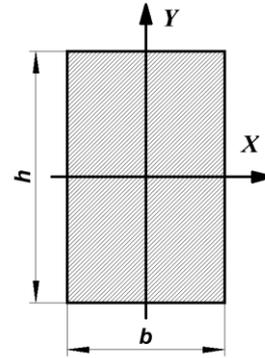
В данном примере это сечения на участках: $HG (z_5=1m), GE (z_6=0,792m)$.

4. Подбираем для балки сечение. Из условия прочности по нормальным напряжениям:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_x} \leq [\sigma]; \quad W_x = \frac{M_{\max}}{[\sigma]} = \frac{83 \cdot 10^3}{160 \cdot 10^6} = 518,75 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 = 518,75 \text{ см}^2.$$



круглое сечение балки



прямоугольное сечение балки

Для круглого сечения: $W_x = \frac{\pi \cdot d^3}{32}$;

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32 \cdot W_x}{\pi}} = \sqrt[3]{\frac{32 \cdot 518,75}{\pi}} = 17,418 \text{ см} \approx 18 \text{ см}.$$

Тогда площадь круглого сечения: $A_{кр} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 18^2}{4} = 254,469 \text{ см}^2$.

Для прямоугольного сечения при $h/b=1,5$: $I_x = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{1,5 \cdot h^3}{12} = 0,056 \cdot h^4$;

$$W_x = \frac{2 \cdot I_x}{h} = \frac{2 \cdot 0,056 \cdot h^4}{h} = 0,112 \cdot h^3;$$

$$h \geq \sqrt[3]{\frac{W_x}{0,112}} = \sqrt[3]{\frac{518,75}{0,112}} = 16,669 \text{ см} \approx 17 \text{ см}; \quad b = \frac{h}{1,5} = \frac{17}{1,5} = 11,333 \text{ см} \approx 12 \text{ см}.$$

Тогда площадь прямоугольного сечения: $A_{пр} = b \cdot h = 12 \cdot 17 = 204 \text{ см}^2$.

Сравниваем площади круглого и прямоугольного сечений :

$$A_{ПР} = 204 \text{ см}^2 < A_{КР} = 254,469 \text{ см}^2$$

Следовательно, использование прямоугольного сечения является более рациональным.

5. Проверка прочности более рационального сечения (прямоугольного) по нормальным напряжениям:

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W_x} = \frac{83 \cdot 10^3}{0,110 \cdot (17 \cdot 10^{-2})^3} = 150,839 \cdot 10^6 \text{ Па} = 150,839 \text{ МПа} \leq [\sigma] = 160 \text{ МПа}..$$

Задание 5. Для кинематического и силового расчёта механического привода требуется:

1. Определить общий КПД и передаточное отношение привода.
2. Подобрать электродвигатель серии 4А (по таблице 5.4).
3. Определить мощности передаваемые валами привода.
4. Определить частоты вращения и угловые скорости валов привода.
5. Определить величины вращающих моментов на валах привода.
6. Оценить полученные результаты.

Структурную схему механического привода принять по таблице 5.1. Мощность на выходном валу (P), частоту вращения выходного вала (n) принять по таблице 5.2.

Таблица 5.1 – Схемы к заданию 5

	Вариант	Вариант
1		
2		
3		

Продолжение таблицы 5.1

	Вариант	Вариант
4		
5		
6		

Продолжение таблицы 5.1

	Вариант	Вариант
7		
8		
9		

Продолжение таблицы 5.1

	Вариант	Вариант
10		
11		
12		

Окончание таблицы 5.1

	Вариант	Вариант
13		
14		
15		

Таблица 5.2 – Числовые данные к заданию 5

Вариант	P , кВт	n , мин ⁻¹
01	1,5	35
02	3,5	45
03	5,5	55
04	7,5	65
05	9,5	75
06	11,5	85
07	13,5	95
08	15,5	105
09	17,5	115
10	19,5	125

Вариант	P , кВт	n , мин ⁻¹
11	8,5	40
12	10,5	50
13	12,5	60
14	14,5	70
15	16,5	80
16	18,5	90
17	20,5	100
18	22,5	110
19	24,5	120
20	26,5	130

Вариант	P , кВт	n , мин ⁻¹
21	4,5	30
22	6,5	45
23	9,0	60
24	12,0	75
25	14,0	90
26	16,0	105
27	18,0	120
28	20,0	135
29	24,0	150
30	26,0	165

Таблица 5.3 – Коэффициенты полезного действия различных механических передач

Вид передачи	КПД передач	
	закрытых	открытых
Зубчатая цилиндрическая	0,96...0,98	0,93...0,95
Зубчатая коническая	0,95...0,97	0,92...0,94
Червячная при числе витков червяка:		
один	0,65...0,70	0,50...0,60
два	0,70...0,75	0,60...0,70
три	0,80...0,85	–
четыре	0,85...0,90	–
Цепная	0,95...0,97	0,90...0,93
Фрикционная	0,90...0,96	0,70...0,88
Ременная	–	0,94...0,97
Для двух подшипников качения	0,99...0,995	
Для двух подшипников скольжения	0,98...0,99	

Таблица 5.4 – Электродвигатели асинхронные серии 4А, закрытые обдуваемые (ГОСТ 19523 – 81)

Мощность, кВт	Синхронная частота вращения, об/мин							
	3000		1500		1000		750	
	Типо-размер	S, %	Типо-размер	S, %	Типо-размер	S, %	Типо-размер	S, %
0,55	63B2	8,5	71A4	7,3	71B6	10	80B8	9,0
0,75	71A2	5,9	71B4	7,5	80A6	8,4	90LA8	8,4
1,1	71B2	6,3	80A4	5,4	80B6	8,0	90LB8	7,0
1,5	80A2	4,2	80B4	5,8	90L6	6,4	100L8	7,0
2,2	80B2	4,3	90L4	5,1	100L6	5,1	112MA8	6,0
3,0	90L2	4,3	100S4	4,4	112MA6	4,7	112M8	5,8
4,0	100S2	3,3	100L4	4,7	112MB6	5,1	132S8	4,1
5,5	100L2	3,4	112M4	3,7	132S2	3,3	132M8	4,1
7,5	112M2	2,5	132S4	3,0	132M6	3,2	160S8	2,5
11,0	132M2	2,3	132M4	2,8	160S6	2,7	160M8	2,5
15	160S2	2,1	160S4	2,3	160M6	2,6	180M8	2,5
18,5	160M2	2,1	160M4	2,2	180M6	2,7	200M8	2,3
22	180S2	2,0	180S4	2,0	200M6	2,8	200L8	2,7
30	180M2	1,9	180M4	1,9	200L6	2,1	225M8	1,8
37	200M2	1,9	200M4	1,7	225M6	1,8	250S8	1,5
45	200L2	1,8	200LA	1,6	250S6	1,4	250M8	1,4
55	225M2	1,8	225M4	1,4	250M6	1,3	280S8	2,2
75	250S2	1,4	250S4	1,2	280S6	2,0	280M8	2,2
90	250M2	1,4	250M4	1,3	280M6	2,0	315S8	2,0
110	280S2	2,0	280S4	2,3	315S6	2,0	315M8	2,0

Примечания –

1. Пример условного обозначения электродвигателя мощностью 11 кВт, синхронная частота вращения 1500 об/мин:

Электродвигатель 4А132М4УЗ

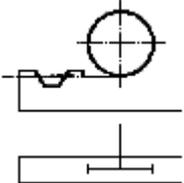
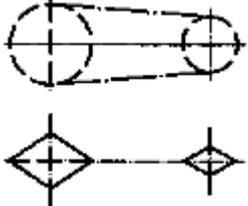
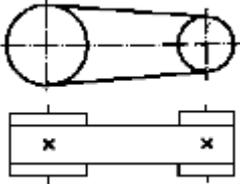
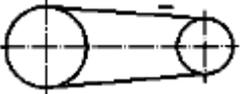
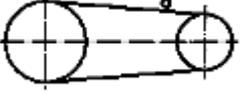
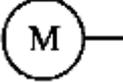
2. Значения символов в условных обозначениях: цифра 4 указывает порядковый номер серии, буква А – род двигателя – асинхронный. Следующие за буквой А числа (двух- или трехзначные) соответствуют высоте оси вращения, мм; буквы L, S и M относятся к установочным размерам по длине станины; буквы А и В – условные обозначения длины сердечника статора. Цифры 2, 4, 6 и 8 означают число полюсов. Последние два знака УЗ показывают, что двигатель предназначен для эксплуатации в зоне умеренного климата.

3. В графе S указано скольжение, %.

**Таблица 5.5 – Условные обозначения некоторых элементов кинематических схем
(ГОСТ 2.782–68)**

Наименование	Тип	Условные обозначения
Подшипники скольжения и качения на валу без уточнения типа	– радиальные	
	– упорные	
Муфта	общее обозначение без уточнения типа	
Муфты нерасцепляемые (неуправляемые)	– глухая	
	– упругая	
	– компенсирующая	
Шкив ступенчатый, закрепленный на валу		
Соединения детали с валом	– свободное вращение	
	– подвижное без вращения	
	– с помощью вытяжной шпонки	
	– глухое	
Передачи зубчатые цилиндрические с внешним зацеплением	– общее обозначение без уточнения типа зубьев	
	– прямыми, косыми и шевронными зубьями	
Передачи зубчатые цилиндрические с внутренним зацеплением	– общее обозначение без уточнения типа зубьев	
Передачи зубчатые с пересекающимися валами	(конические без уточнения типа зубьев)	
Передачи зубчатые со скрещивающимися валами	(червячные с цилиндрическим червяком)	

Окончание таблицы 5.5

<p>Передачи зубчатые реечные</p>	<p>(общее обозначение без уточнения типа зубьев)</p>	
<p>Передача цепью</p>	<p>(общее обозначение без уточнения типа цепи)</p>	
<p>Передачи ременные</p>	<p>– без уточнения типа ремня</p>	
	<p>– плоским ремнем</p>	
	<p>– клиновидным ремнем</p>	
	<p>– круглым ремнем</p>	
	<p>– зубчатым ремнем</p>	
<p>Электродвигатель</p>		

Определяем передаточное число привода: $u = \frac{z_4}{z_3} \cdot \frac{z_6}{z_5} \cdot \frac{z_8}{z_7} = \frac{60}{20} \cdot \frac{80}{20} \cdot \frac{51}{17} = 36$

3. Подбор электродвигателя.

Требуемая мощность электродвигателя: $P_{TP} = \frac{P_{IV}}{\eta} = \frac{3,5}{0,805} = 4,348 \text{ кВт}$.

Требуемая частота вращения электродвигателя: $n_{TP} = n_{IV} \cdot u = 40 \cdot 36 = 1440 \text{ мин}^{-1}$.

По ГОСТ 19523 – 81 принимаем электродвигатель асинхронный (серии 4А) – 112М4; мощность $P=5,5$ кВт; с частотой вращения $n=1500 \text{ мин}^{-1}$; коэффициент скольжения $S=3,7\%$.

$$P_{ЭД} = 5,5 \text{ кВт}.$$

Номинальная частота вращения: $n_{ЭД} = n \cdot \left(1 - \frac{S}{100}\right) = 1500 \cdot \left(1 - \frac{3,7}{100}\right) = 1444,5 \text{ мин}^{-1}$.

Угловая скорость: $\omega_{ЭД} = \frac{\pi \cdot n_{ЭД}}{30} = \frac{\pi \cdot 1444,5}{30} = 151,268 \text{ рад/с} = 151,268 \text{ с}^{-1}$.

4. Определяем мощности передаваемые валами привода:

$$\begin{aligned} P_I &= P_{ЭД} \cdot \eta_M \cdot \eta_{III} = 5,5 \cdot 0,98 \cdot 0,99 = 5,336 \text{ кВт}; \\ P_{II} &= P_I \cdot \eta_{III} \cdot \eta_{ЗПК} = 5,336 \cdot 0,99 \cdot 0,97 = 5,124 \text{ кВт}; \\ P_{III} &= P_{II} \cdot \eta_{III} \cdot \eta_{ЗЩ} = 5,124 \cdot 0,99 \cdot 0,98 = 4,971 \text{ кВт}; \\ P_{IV} &= P_{III} \cdot \eta_{III} \cdot \eta_{ЦП} = 4,971 \cdot 0,99 \cdot 0,9 = 4,429 \text{ кВт}. \end{aligned}$$

5. Определяем частоты вращения валов:

$$\begin{aligned} n_I &= n_{ЭД} = 1444,5 \text{ мин}^{-1}; \\ n_{II} &= n_I \cdot \frac{z_3}{z_4} = 1444,5 \cdot \frac{20}{60} = 481,5 \text{ мин}^{-1}; \\ n_{III} &= n_{II} \cdot \frac{z_5}{z_6} = 481,5 \cdot \frac{20}{80} = 120,375 \text{ мин}^{-1}; \\ n_{IV} &= n_{III} \cdot \frac{z_8}{z_7} = 120,375 \cdot \frac{17}{51} = 40,125 \text{ мин}^{-1}. \end{aligned}$$

Определяем угловые скорости валов:

$$\omega_I = \frac{\pi \cdot n_I}{30} = \frac{\pi \cdot 1444,5}{30} = 151,372 \text{ с}^{-1};$$

$$\omega_{II} = \frac{\omega_I}{\frac{z_4}{z_3}} = \frac{151,372}{\frac{60}{20}} = 50,457 \text{ c}^{-1};$$

$$\omega_{III} = \frac{\omega_{II}}{\frac{z_6}{z_5}} = \frac{50,457}{\frac{80}{20}} = 12,614 \text{ c}^{-1};$$

$$\omega_{IV} = \frac{\omega_{III}}{\frac{z_6}{z_5}} = \frac{12,614}{\frac{51}{17}} = 4,205 \text{ c}^{-1}.$$

6. Определяем вращающие моменты на валах:

$$M_I = \frac{P_I}{\omega_I} = \frac{5,336 \cdot 10^3}{151,372} = 35,251 \text{ H} \cdot \text{м};$$

$$M_{II} = \frac{P_{II}}{\omega_{II}} = \frac{5,124 \cdot 10^3}{50,457} = 101,552 \text{ H} \cdot \text{м};$$

$$M_{III} = \frac{P_{III}}{\omega_{III}} = \frac{4,971 \cdot 10^3}{12,614} = 394,086 \text{ H} \cdot \text{м};$$

$$M_{IV} = \frac{P_{IV}}{\omega_{IV}} = \frac{4,429 \cdot 10^3}{4,205} = 1053,270 \text{ H} \cdot \text{м}.$$

7. Оцениваем полученные результаты расчета, для выходного вала IV:

$$\text{мощность} - \left| \frac{3,5 - 4,429}{3,5} \right| \cdot 100\% = 26,543 \%;$$

$$\text{частота} - \left| \frac{40 - 40,125}{40} \right| \cdot 100\% = 0,313 \%.$$

6 Критерии оценки домашней контрольной работы

Таблица 6

Оценка результатов	Показатели оценки
не зачтено	Домашняя контрольная работа (ДКР) выполнена не в полном объеме или не соответствует заданному варианту. Отсутствует краткое пояснение к решению задач по ходу выполнения, не приведены соответствующие схемы (рисунки), которыми сопровождается условие задач, а также их решение, а если приведены, то оформлены небрежно, с множественными грамматическими и стилистическими ошибками без соблюдения масштаба, не соблюдены требования методических рекомендаций по оформлению и выполнению ДКР. Отсутствует список использованных источников.
зачтено	ДКР выполнена в полном объеме, верно, аккуратно, без исправлений и соответствует заданному варианту. Решения задач, выполненных в работе, сопровождается кратким и точным пояснением выполняемых действий; имеют логическое завершение. По тексту решений задач сделаны ссылки на используемые источники. В конце работы приведен список используемых источников, которым руководствовались в процессе выполнения задания, дата сдачи контрольной работы на проверку и подпись учащегося.

Приложение А

Форма титульного листа для домашней контрольной работы	
Министерство образования Республики Беларусь	(16)
Учреждение образования «Брестский государственный технический университет»	(16)
Филиал Учреждения образования «Брестский государственный технический университет» Политехнический колледж	(16)
Радиотехническое отделение	(16)

ДОМАШНЯЯ КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

(24Ж)

Основы технической механики

(наименование дисциплины) (18)

Вариант № 09 (14)

Преподаватель (14)

М.О. Храпунова (14)
(инициалы, фамилия)

Выполнил учащийся (14)

1 курса группы Рз19
С.В. Марчук (14)
(инициалы, фамилия)

специальности (14)
2-39 02 32 «Проектирование и
производство радиоэлектронных
средств»

Шифр учащегося 4309 (14)

2017 (14)