МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Самарский государственный технический университет»
(ФГБОУ ВО «СамГТУ»)

УТВЕРЖДАЮ:
Проректор по учебной работе
_____ / О.В. Юсупова
"_____" _____ 20___ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Б1.О.03.01 «Прикладная механика»

Код и направление подготовки (специальность)	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
Направленность (профиль)	Электроэнергетические системы и сети
Квалификация	Бакалавр
Форма обучения	Заочная
Год начала подготовки	2023
Институт / факультет	Электротехнический факультет (ЭТФ)
Выпускающая кафедра	кафедра "Автоматизированные электроэнергетические системы"
Кафедра-разработчик	кафедра "Механика"
Объем дисциплины, ч. / з.е.	216 / 6
Форма контроля (промежуточная аттестация)	Экзамен

Самара 2023

Б1.О.03.01 «Прикладная механика»

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки (специальности) **13.03.02 Электроэнергетика и электротехника**, утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ от № 144 от 28.02.2018 и соответствующего учебного плана.

Разработчик РПД:

Старший преподаватель (должность, степень, ученое звание)	Н.А Панкратова (ФИО)
Заведующий кафедрой	Я.М. Клебанов, доктор технических наук, профессор (ФИО, степень, ученое звание)

СОГЛАСОВАНО:

Председатель методического совета факультета / института (или учебно-методической комиссии)	А.М Абакумов, доктор технических наук, профессор (ФИО, степень, ученое звание)
Руководитель образовательной программы	Е.А. Кротков, кандидат технических наук, доцент (ФИО, степень, ученое звание)
Заведующий выпускающей кафедрой	Е.А. Кротков, кандидат технических наук, доцент (ФИО, степень, ученое звание)

Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы 4
2. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы 4
3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся 5
4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам), с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий 5
4.1 Содержание лекционных занятий 6
4.2 Содержание лабораторных занятий 7
4.3 Содержание практических занятий 7
4.4. Содержание самостоятельной работы 7
5. Перечень учебной литературы и учебно-методического обеспечения по дисциплине (модулю) 10
6. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения 11
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», профессиональных баз данных, информационно-справочных систем 11
8. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю) 12
9. Методические материалы 13
10. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю) 14

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Наименование категории (группы) компетенций	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения (знать, уметь, владеть, соотнесенные с индикаторами достижения компетенции)
Общепрофессиональные компетенции			
	ОПК-3 Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач	ОПК-3.3 Демонстрирует понимание физических явлений, знание элементарных основ оптики, квантовой механики и атомной физики и умеет применять физические законы механики, молекулярной физики, термодинамики, электричества и магнетизма для решения типовых задач.	Владеть Методами структурного анализа механизмов, проектирования зубчатых передач, расчета валов на прочность.
			Знать сущность основных физических явлений, элементарных основ из области механики
			Уметь Составлять и решать уравнения равновесия. Анализировать напряженно-деформированное состояние твердого тела при простейших нагрузках: растяжение, кручение, изгиб. Строить эпюры внутренних силовых факторов.

2. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы: **базовая часть**

Код компетенции	Предшествующие дисциплины	Параллельно осваиваемые дисциплины	Последующие дисциплины

ОПК-3	Математика; Общая энергетика; Физика; Химия	Инженерная и компьютерная графика; Электроника	Математическое моделирование в электроэнергетике и электротехнике; Моделирование и методы планирования экспериментов; Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы; Производство и распределение электроэнергии; Теоретические основы систем автоматизированного проектирования; Теория автоматического управления; Электрооборудование электрических станций ; Электроснабжение

3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Вид учебной работы	Всего часов / часов в электронной форме	3 семестр часов / часов в электронной форме
Аудиторная контактная работа (всего), в том числе:	12	12
Лекции	6	6
Практические занятия	6	6
Внеаудиторная контактная работа, КСР	6	6
Самостоятельная работа (всего), в том числе:	189	189
выполнение задач, заданий, упражнений (в том числе разноуровневых)	80	80
подготовка к практическим занятиям	45	45
подготовка к экзамену	18	18
составление конспектов	46	46
Контроль	9	9
Итого: час	216	216
Итого: з.е.	6	6

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам), с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

№ раздела	Наименование раздела дисциплины	Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, часы				
		ЛЗ	ЛР	ПЗ	СРС	Всего часов
1	Основы расчета на прочность	3	0	3	95	101
2	Основы проектирования и конструирования механизмов	3	0	3	94	100
	КСР	0	0	0	0	6
	Контроль	0	0	0	0	9
	Итого	6	0	6	189	216

4.1 Содержание лекционных занятий

№ занятия	Наименование раздела	Тема лекции	**Содержание лекции** (перечень дидактических единиц: рассматриваемых подтем, вопросов)	Количество часов / часов в электронной форме
3 семестр				
1	Основы расчета на прочность	Основные понятия сопротивления материалов	Прочность, жесткость, устойчивость. Метод сечений. Внутренние силовые факторы. Эпюры внутренних силовых факторов	2
2	Основы расчета на прочность	Простые виды деформации	Понятие о напряжениях и деформациях. Закон Гука. Геометрические характеристики сечения. Центральное растяжение (сжатие). Диаграмма растяжения. Механические свойства материалов. Твердость материалов. Условие прочности. Виды расчетов на прочность.	1
3	Основы проектирования и конструирования механизмов	Механизмы вращательного движения	Простейшие передачи и их основные характеристики. Многоступенчатые простые передачи. Коэффициент полезного действия. Выбор двигателя. Кинематический и силовой анализ редукторов.	2
4	Основы проектирования и конструирования механизмов	Прочность передач зацеплением	Критерии работоспособности передач зацеплением. Материалы, применяемые для изготовления передач. Расчет допускаемых напряжений. Контактные напряжения в передаче зацеплением. Изгибные напряжения в передаче зацеплением. Силы в передачах зацеплением.	1
Итого за семестр:				**6**
Итого:				**6**

4.2 Содержание лабораторных занятий

Учебные занятия не реализуются.

4.3 Содержание практических занятий

№ занятия	Наименование раздела	Тема практического занятия	Содержание практического занятия (перечень дидактических единиц: рассматриваемых подтем, вопросов)	Количество часов / часов в электронной форме
3 семестр				
1	Основы расчета на прочность	Определение реакций опор двухопорной и консольной балок.	Определение реакций опор двухопорной и консольной балок. Решение задач	2
2	Основы расчета на прочность	Метод сечений. Построение эпюр продольных сил при растяжении-сжатии. Расчет на прочность.	Эпюры внутренних силовых факторов.	1
3	Основы проектирования и конструирования механизмов	Кинематический и силовой анализ простых многоступенчатых передач.	Многоступенчатые простые передачи.	2
4	Основы проектирования и конструирования механизмов	Геометрические параметры цилиндрической, конической и червячной передач.	Тесты: «Цилиндрическая передача», «Коническая передача», «Червячная передача».	1
			Итого за семестр:	**6**
			Итого:	**6**

4.4. Содержание самостоятельной работы

Наименование раздела	Вид самостоятельной работы	Содержание самостоятельной работы (перечень дидактических единиц: рассматриваемых подтем, вопросов)	Количество часов
3 семестр			
Основы расчета на прочность	Выполнение задач, заданий, упражнений (в том числе разноуровневых)	Решение задач на тему «Построение эпюр изгибающих моментов и поперечных сил при изгибе консольных балок». Решение задач на тему «Построение эпюр изгибающих моментов и поперечных сил при изгибе двухопорных балок». Решение задач на тему «Определение нагрузок по эпюрам внутренних силовых факто-ров при изгибе двухопорных балок».	30

Основы расчета на прочность	Выполнение задач, заданий, упражнений (в том числе разноуровневых)	Подготовка к тестам "Расчет на прочность"	10
Основы расчета на прочность	Подготовка к практическим занятиям	Перечень вопросов для самостоятельной подготовки. 1. Построение эпюр продольных сил при растяжении-сжатии стержня. 2. Закон Гука при растяжении прямых стержней. 3. Построение эпюр изгибающих моментов при изгибе консольных балок. 4. Формулы расчета на прочность при растяжении, сдвиге, кручении и изгибе. 5. Классификация материалов на пластичные и хрупкие. Предельные и допускаемые напряжения для пластичных и хрупких материалов. 6. Суть проектного и проверочного расчетов на прочность. 7. Диаграммы растяжения (условная и истинная) и выносливости. Механические свойства материалов при растяжении. 8. Напряжения в точке. Главные напряжения. 9. Обобщенный закон Гука. Критерии прочности. 10. Кинематический и силовой анализ двухступенчатых передач.	20
Основы расчета на прочность	Написание конспектов	Основные понятия статики. Сила. Момент силы относительно точки и оси. Пара сил. Основная теорема статики. Условия равновесия. Связи и их реакции. Прочность, жесткость, устойчивость. Метод сечений. Внутренние силовые факторы. Эпюры внутренних силовых факторов. Напряжения и условия прочности при сдвиге. Напряжения и условия прочности при смятии. Напряжения и условия прочности при кручении. Деформация при кручении. Условие жесткости. Изгиб основные понятия. Напряжения и условие прочности при чистом изгибе. Деформации при изгибе. Рациональные формы сечений.	35
Основы проектирования и конструирования механизмов	Выполнение задач, заданий, упражнений (в том числе разноуровневых)	Подготовка к тестам: «Кинематический и силовой анализ механизмов», « Цилиндрическая передача», «Коническая передача», «Червячная передача», «Валы и оси», «Подшипники».	20
Основы проектирования и конструирования механизмов	Выполнение задач, заданий, упражнений (в том числе разноуровневых)	Решение задач: Структурный кинематический и силовой анализ механизма,	20

Основы проектирования и конструирования механизмов	подготовка к практическим занятиям	Перечень вопросов для самостоятельного обучения 1. Структурные схемы приводов с цилиндрической, конической, червячной, реечной и вин-товой передачей. 2. Параметры, влияющие на величину допускаемых напряжений контактной и изгибной выносливости зубчатых передач. 3. Критерии выбора материала для изготовления зубчатой и червячной передачи. 4.Силы,возникающие в зубчатых и червячных передачах. 5. Напряжения в зубчатой паре. Критерии прочности зубчатых передач. Нагрузка при рас-чете передач на прочность. 6. Проектный и проверочный расчет валов. 7. Виды деформации вала от сил в передаче зацеплением. 8. Расчет шпоночных соединений на срез и смятие. 9. Муфты. Назначение и классификация 10.Подшипники качения. Классификация подшипников. Выбор типа подшипника. 11. Размерная точность. Отклонения и допуск. Соединение двух деталей. Посадка.	25
Основы проектирования и конструирования механизмов	Написание конспектов	Привод и его структура. Передаточное отношение. Механизмы вращательного движения. Прочность передач зацеплением. Геометрические параметры цилиндрической передачи. Механизмы вращательного движения. Прочность передач зацеплением. Геометрические параметры червячной передачи. Геометрия эвольвентного зацепления. Геометрические параметры цилиндрической передачи. Геометрические параметры конической передачи. Геометрические параметры червячной передачи. Критерии работоспособности передач зацеплением. Материалы, применяемые для изготовления передач. Расчет допускаемых напряжений. Контактные напряжения в передаче зацеплением. Изгибные напряжения в передаче зацеплением. Силы в передачах зацеплением.Валы и оси. Нагрузка на валы. Этапы расчета валов на прочность. Расчет усталостной прочности вала. Общие сведения о подшипниках. Классификация подшипников. Основные типы подшипников качения. Рекомендации по выбору типа подшипников. Схема установки подшипников в опорах.	11

Основы проектирования и конструирования механизмов	подготовка к экзамену	Перечень вопросов для подготовки к экзамену 1. Построение эпюр продольных сил при растяжении-сжатии стержня. 2. Закон Гука при растяжении прямых стержней. 3. Построение эпюр изгибающих моментов при изгибе консольных балок. 4. Формулы расчета на прочность при растяжении, сдвиге, кручении и изгибе. 5. Классификация материалов на пластичные и хрупкие. Предельные и допускаемые напряжения для пластичных и хрупких материалов. 6. Суть проектного и проверочного расчетов на прочность. 7. Диаграммы растяжения (условная и истинная) и выносливости. Механические свойства материалов при растяжении. 8. Напряжения в точке. Главные напряжения. 9. Обобщенный закон Гука. Критерии прочности. 10. Кинематический и силовой анализ двухступенчатых передач. 11. Структурные схемы приводов с цилиндрической, конической, червячной, реечной и винтовой передачей. 12. Параметры, влияющие на величину допускаемых напряжений контактной и изгибной выносливости зубчатых передач. 13. Критерии выбора материала для изготовления зубчатой и червячной передачи. 14.Силы,возникающие в зубчатых и червячных передачах. 15. Напряжения в зубчатой паре. Критерии прочности зубчатых передач. Нагрузка при рас-чете передач на прочность. 16. Проектный и проверочный расчет валов. 17. Виды деформации вала от сил в передаче зацеплением. 18. Расчет шпоночных соединений на срез и смятие. 19. Муфты. Назначение и классификация 20.Подшипники качения. Классификация подшипников. Выбор типа подшипника. 21. Размерная точность. Отклонения и допуск. Соединение двух деталей. Посадка.	18
		Итого за семестр:	**189**
		Итого:	**189**

5. Перечень учебной литературы и учебно-методического обеспечения по дисциплине (модулю)

№ п/п	**Библиографическое описание**	**Ресурс НТБ СамГТУ** (ЭБС СамГТУ, IPRbooks и т.д.)

Основная литература		
1	Александров, Анатолий Васильевич Сопротивление материалов : учеб. для вузов [Текст] / под ред. А. В. Александрова .- 7-е изд., стер..- Москва, Высш. шк., 2009.- 557 с.	Электронный ресурс
2	Иосилевич, Г.Б. Прикладная механика : учеб. / Г. Б. Иосилевич, П. А. Лебедев, В. С. Стреляев .- Репр.изд..- М., Альянс, 2013.- 575 с.	Электронный ресурс
3	Шейнблит, Александр Ефимович Курсовое проектирование деталей машин : учеб. пособие для студентов сред. спец. учеб. заведений, обучающихся по техн. специальностям [Текст] .- 2-е изд., перераб.и доп..- Калининград, Янтар. сказ, 2008.- 455 с.	Электронный ресурс
Дополнительная литература		
4	Кубышкин , А.Б. Краткий курс механики : учеб.-метод. пособие / А. Б. Кубышкин; Самар.гос.техн.ун-т.- Самара, 2013.- 151 с.	Электронный ресурс
Учебно-методическое обеспечение		
5	Кубышкин, А.Б. Решение контрольных задач по механике : учеб.-метод. пособие / А. Б. Кубышкин; Самар.гос.техн.ун-т, Прикладная механика.- Самара, 2008.- 44 с..- Режим доступа: https://elib.samgtu.ru/getinfo?uid=els_samgtu||elib||2073	Электронный ресурс

Доступ обучающихся к ЭР НТБ СамГТУ (elib.samgtu.ru) осуществляется посредством электронной информационной образовательной среды университета и сайта НТБ СамГТУ по логину и паролю.

6. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения

При проведении лекционных занятий используется мультимедийное оборудование.

Организовано взаимодействие обучающегося и преподавателя с использованием электронной ин-формационной образовательной среды университета.

№ п/п	Наименование	Производитель	Способ распространения
1	ANSYS	ANSYS (Зарубежный)	Лицензионное
2	Microsoft Windows XP Professional операционная система	операционная система Microsoft (Зарубежный)	Лицензионное
3	КОМПАС 3D V19 LT	АСКОН (Отечественный)	Свободно распространяемое

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», профессиональных баз данных, информационно-справочных систем

№ п/п	Наименование	Краткое описание	Режим доступа
1	Ресурс машиностроения (каталог машиностроительных заводов, документы, статьи)	http://www.i-mash.ru/matcat.html	Ресурсы открытого доступа

2	Сопротивление материалов и науки о прочности.	mysopromat.ru	Ресурсы открытого доступа
3	eLIBRARY.ru	http://www.eLIBRARY.ru/	Российские базы данных ограниченного доступа
4	Электронная библиотека изданий СамГТУ	http://irbis.samgtu.local/cgi-bin/irbis64r_01/cgiirbis_64.exe	Российские базы данных ограниченного доступа

8. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Лекционные занятия

Аудитории для лекционных занятий укомплектованы мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории (наборы демонстрационного оборудования (проектор, экран, компьютер/ноутбук), учебно-наглядные пособия, тематические иллюстрации).

Практические занятия

Аудитории для практических занятий укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения (проектор, экран, компьютер/ноутбук).

- компьютерный класс на 12 посадочных мест (ауд. № 19, корпус 6), оснащенный программным обеспечением «ANSYS» для конечно-элементного решения задач механики деформируемого твёрдого тела и механики конструкций; системой компьютерной графики КОМПАС для проектирования механических устройств; пакетами ПО общего назначения (текстовые редакторы, графические редакторы);
- компьютерный класс на 15 посадочных мест (ауд. 44, корпус 6);
- наличие справочников и литературы по темам практических занятий.

Самостоятельная работа

Помещения для самостоятельной работы оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и доступом к электронной информационно-образовательной среде СамГТУ:

- читальный зал НТБ СамГТУ (ауд. 200 корпус № 8; ауд. 125 корпус № 1; ауд. 44 корпус № 6; ауд. 41, 31, 34, 35 Главный корпус библиотеки, ауд. 83а, 414, 416, 0209 АСА СамГТУ; ауд. 401 корпус №10);
- компьютерные классы (ауд. 208, 210 корпус № 8).

9. Методические материалы

Методические рекомендации при работе на лекции

До лекции студент должен просмотреть учебно-методическую и научную литературу по теме лекции с тем, чтобы иметь представление о проблемах, которые будут разбираться в лекции.

Перед началом лекции обучающимся сообщается тема лекции, план, вопросы, подлежащие рассмотрению, доводятся основные литературные источники. Весь учебный материал, сообщаемый преподавателем, должен не просто прослушиваться. Он должен быть активно воспринят, т.е. услышан, осмыслен, понят, зафиксирован на бумаге и закреплен в памяти. Приступая к слушанию нового учебного материала, полезно мысленно установить его связь с ранее изученным. Следя за техникой чтения лекции (акцент на существенном, повышение тона, изменение ритма, пауза и т.п.), необходимо вслед за преподавателем уметь выделять основные категории, законы и определять их содержание, проблемы, предполагать их возможные решения, доказательства и выводы. Осуществляя такую работу, можно значительно облегчить себе понимание учебного материала, его конспектирование и дальнейшее изучение.

Конспектирование лекции позволяет обработать, систематизировать и лучше сохранить полученную информацию с тем, чтобы в будущем можно было восстановить в памяти основные, содержательные моменты. Типичная ошибка, совершаемая обучающимся, дословное конспектирование речи преподавателя. Как правило, при записи «слово в слово» не остается времени на обдумывание, анализ и синтез информации. Отбирая нужную информацию, главные мысли, проблемы, решения и выводы, необходимо сокращать текст, строить его таким образом, чтобы потом можно было легко в нем разобраться. Желательно оставить в рабочих конспектах поля, на которых можно будет делать пометки из рекомендованной литературы, дополняющие материал прослушанной лекции, а также подчеркивающие особую важность тех или иных теоретических положений. С окончанием лекции работа над конспектом не может считаться завершенной. Нужно еще восстановить отдельные места, проверить, все ли понятно, уточнить что-то на консультации и т.п. с тем, чтобы конспект мог быть использован в процессе подготовки к практическим занятиям, зачету, экзамену. Конспект лекции – незаменимый учебный документ, необходимый для самостоятельной работы.

Методические рекомендации при подготовке и работе на практическом занятии

Практические занятия по дисциплине проводятся в целях выработки практических умений и приобретения навыков в решении профессиональных задач.

Рекомендуется следующая схема подготовки к практическому занятию:

1. ознакомление с планом практического занятия, который отражает содержание предложенной темы;
2. проработка конспекта лекции;
3. чтение рекомендованной литературы;
4. подготовка ответов на вопросы плана практического занятия;
5. выполнение тестовых заданий, задач и др.

Подготовка обучающегося к практическому занятию производится по вопросам, разработанным для каждой темы практических занятий и (или) лекций. В процессе подготовки к практическим занятиям, необходимо обратить особое внимание на самостоятельное изучение рекомендованной литературы.

Работа студентов во время практического занятия осуществляется на основе заданий, которые выдаются обучающимся в начале или во время занятия. На практических занятиях приветствуется активное участие в обсуждении конкретных ситуаций, способность на основе полученных знаний находить наиболее эффективные решения поставленных проблем, уметь находить полезный дополнительный материал по тематике занятий. Обучающимся необходимо обращать внимание на основные понятия, алгоритмы, определять практическую значимость рассматриваемых вопросов. На практических занятиях обучающиеся должны уметь выполнить расчет по заданным параметрам или выработать определенные решения по обозначенной проблеме. Задания могут быть групповые и

индивидуальные. В зависимости от сложности предлагаемых заданий, целей занятия, общей подготовки обучающихся преподаватель может подсказать обучающимся алгоритм решения или первое действие, или указать общее направление рассуждений. Полученные результаты обсуждаются с позиций их адекватности или эффективности в рассмотренной ситуации.

Методические рекомендации по выполнению самостоятельной работы

Организация самостоятельной работы обучающихся ориентируется на активные методы овладения знаниями, развитие творческих способностей, переход от поточного к индивидуализированному обучению с учетом потребностей и возможностей обучающегося.

Самостоятельная работа с учебниками, учебными пособиями, научной, справочной литературой, материалами периодических изданий и Интернета является наиболее эффективным методом получения дополнительных знаний, позволяет значительно активизировать процесс овладения информацией, способствует более глубокому усвоению изучаемого материала. Все новые понятия по изучаемой теме необходимо выучить наизусть и внести в глоссарий, который целесообразно вести с самого начала изучения курса.

Самостоятельная работа реализуется:

- непосредственно в процессе аудиторных занятий;
- на лекциях, практических занятиях;
- в контакте с преподавателем вне рамок расписания;
- на консультациях по учебным вопросам, в ходе творческих контактов, при ликвидации задолженностей, при выполнении индивидуальных заданий и т.д.;
- в библиотеке, дома, на кафедре при выполнении обучающимся учебных и практических задач.

Эффективным средством осуществления обучающимся самостоятельной работы является электронная информационно-образовательная среда университета, которая обеспечивает доступ к учебным планам, рабочим программам дисциплин (модулей), практик, к изданиям электронных библиотечных систем.

10. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)

Фонд оценочных средств представлен в приложении № 1.

Приложение 1 к рабочей программе дисциплины
Б1.О.03.01 «Прикладная механика»

Фонд оценочных средств
по дисциплине
Б1.О.03.01 «Прикладная механика»

Код и направление подготовки (специальность)	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
Направленность (профиль)	Электроэнергетические системы и сети
Квалификация	Бакалавр
Форма обучения	Заочная
Год начала подготовки	2023
Институт / факультет	Электротехнический факультет (ЭТФ)
Выпускающая кафедра	кафедра "Автоматизированные электроэнергетические системы"
Кафедра-разработчик	кафедра "Механика"
Объем дисциплины, ч. / з.е.	216 / 6
Форма контроля (промежуточная аттестация)	Экзамен

Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Наименование категории (группы) компетенций	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения (знать, уметь, владеть, соотнесенные с индикаторами достижения компетенции)
Общепрофессиональные компетенции			
	ОПК-3 Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач	ОПК-3.3 Демонстрирует понимание физических явлений, знание элементарных основ оптики, квантовой механики и атомной физики и умеет применять физические законы механики, молекулярной физики, термодинамики, электричества и магнетизма для решения типовых задач.	Владеть Методами структурного анализа механизмов, проектирования зубчатых передач, расчета валов на прочность.
			Знать сущность основных физических явлений, элементарных основ из области механики
			Уметь Составлять и решать уравнения равновесия. Анализировать напряженно-деформированное состояние твердого тела при простейших нагрузках: растяжение, кручение, изгиб. Строить эпюры внутренних силовых факторов.

Матрица соответствия оценочных средств запланированным результатам обучения

Код индикатора достижения компетенции	Результаты обучения	Оценочные средства	Текущий контроль успеваемости	Промежуточная аттестация
Основы расчета на прочность				

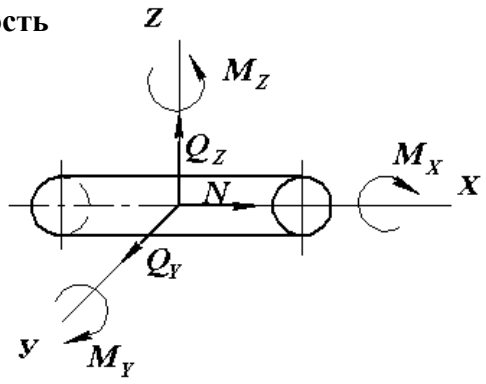
ОПК-3.3 Демонстрирует понимание физических явлений, знание элементарных основ оптики, квантовой механики и атомной физики и умеет применять физические законы механики, молекулярной физики, термодинамики, электричества и магнетизма для решения типовых задач.	**Уметь** Составлять и решать уравнения равновесия. Анализировать напряженно-деформированное состояние твердого тела при простейших нагрузках: растяжение, кручение, изгиб. Строить эпюры внутренних силовых факторов.	конспекты	Да	Нет
		конспекты	Нет	Да
	Знать сущность основных физических явлений, элементарных основ из области механики	конспекты	Да	Нет
		конспекты	Нет	Да
	Владеть Методами структурного анализа механизмов, проектирования зубчатых передач, расчета валов на прочность.	конспекты	Да	Нет
		конспекты	Нет	Да
Основы проектирования и конструирования механизмов				
ОПК-3.3 Демонстрирует понимание физических явлений, знание элементарных основ оптики, квантовой механики и атомной физики и умеет применять физические законы механики, молекулярной физики, термодинамики, электричества и магнетизма для решения типовых задач.	**Знать** сущность основных физических явлений, элементарных основ из области механики	конспекты	Да	Нет
		конспекты	Нет	Да
	Уметь Составлять и решать уравнения равновесия. Анализировать напряженно-деформированное состояние твердого тела при простейших нагрузках: растяжение, кручение, изгиб. Строить эпюры внутренних силовых факторов.	конспекты	Да	Нет
		конспекты	Нет	Да
	Владеть Методами структурного анализа механизмов, проектирования зубчатых передач, расчета валов на прочность.	конспекты	Да	Нет
		Экзамен	Нет	Да

Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений и (или) опыта деятельности, характеризующие процесс формирования компетенций в ходе освоения образовательной программы

ТЕСТ 1

Содержание тестовых материалов

Прочность

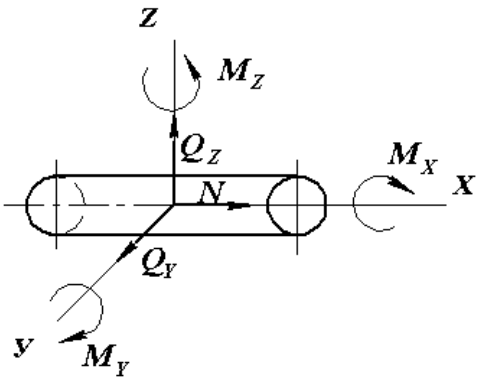


1. Задание {{ 1 }} ТЗ № 1-1 (№ 1)

Укажите, какой из перечисленных в таблице внутренних силовых факторов вызывает деформацию изгиба?

1	M_X
2	N
3	M_y, M_z
4	Q_z, Q_y

Введите номер из таблицы:

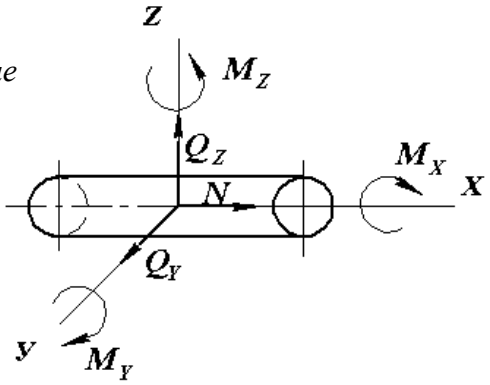


2. Задание {{ 2 }} ТЗ № 1-2(№ 5)

Укажите, какой из перечисленных в таблице внутренних силовых факторов вызывает деформацию сдвига?

1	M_X
2	N
3	M_y, M_z
4	Q_z, Q_y

Введите номер из таблицы:

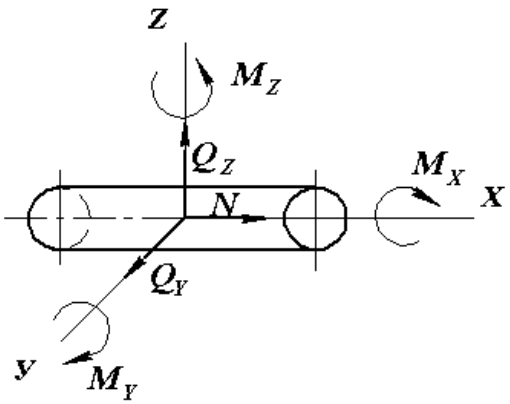


3. Задание {{ 3 }} ТЗ № 1-3 (№ 8)

Укажите, какой из перечисленных в таблице внутренних силовых факторов вызывает деформацию кручения?

1	M_X
2	N
3	M_y, M_z
4	Q_z, Q_y

Введите номер из таблицы:



4. Задание {{ 4 }} ТЗ № 1-4 (№ 11)

Укажите, какой из перечисленных в таблице внутренних силовых факторов вызывает деформацию растяжения?

1	M_X
2	N
3	M_y, M_z

Введите номер из таблицы:

5. Задание {{ 6 }} ТЗ № 3-1 (№ 15)

Укажите, при каких видах деформации в поперечном сечении детали возникают касательные напряжения:

- ☐ изгиб
- ☐ кручение
- ☐ сдвиг
- ☐ растяжение
- ☐ изгиб с кручением
- ☐ изгиб с растяжением

6. Задание {{ 8 }} ТЗ № 2-1 (№ 9)

Укажите, при каких внутренних силовых факторах в поперечном сечении детали возникают нормальные напряжения:

☐ *нормальная сила N*
☐ *поперечная сила* Q_z, Q_y
☐ *крутящий момент* M_x
☐ *изгибающий момент* M_y, M_z

7. Задание {{ 10 }} ТЗ № 6-1 (№ 3)

Укажите условия, при которых деталь, испытывающая деформацию растяжения не разрушается:

- ☐ нормальные напряжения равны допускаемым
- ☐ нормальные напряжения меньше допускаемых
- ☐ касательные напряжения меньше допускаемых
- ☐ касательные напряжения равны допускаемых
- ☐ нормальные напряжения больше допускаемых

8. Задание {{ 11 }} ТЗ № 7-1 (№ 10)

Укажите параметры, которые используются при расчете на прочность при сдвиге:

☐ *поперечная сила* Q_z, Q_y
☐ *нормальная сила N*
☐ *крутящий момент* M_x
☐ *полярный момент сопротивления* W_P
☐ *площадь поперечного сечения A*
☐ *допускаемые нормальные напряжения* $[\sigma]$
☐ *допускаемые касательные напряжения* $[\tau]$

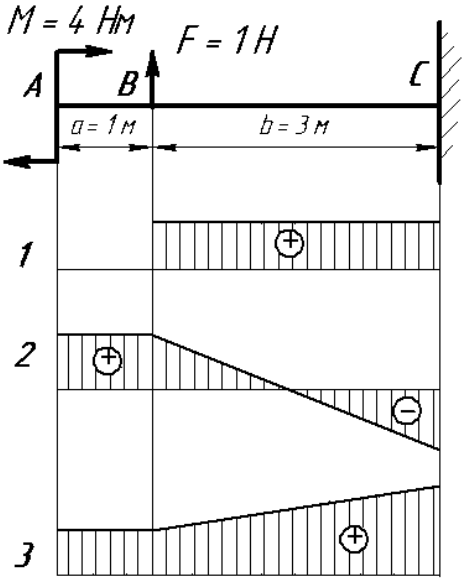
9. Задание {{ 12 }} ТЗ № 8-1 (№ 16)

При растяжении имеет место:

- ☐ укорочение стержня
- ☐ уменьшение площади поперечного сечения
- ☐ увеличение площади поперечного сечения
- ☐ относительная поперечная деформация
- ☐ абсолютное удлинение стержня
- ☐ относительная продольная деформация

10. Задание {{ 13 }} ТЗ № 9-1 (№ 22)

На рисунке изображена расчетная схема стержня
Укажите, какой вид деформации испытывает стержень.



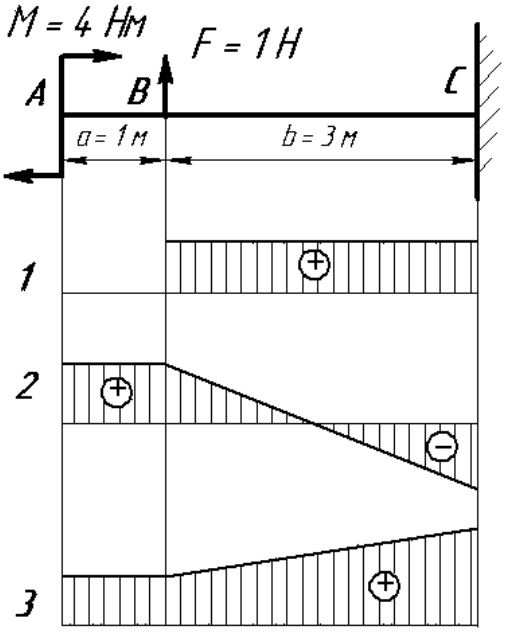
$W_{н.о} = 100\ мм^3$

$[\sigma] = 90\ МПа$

☐ изгиб
☐ растяжение
☐ кручение

11. Задание {{ 14 }} ТЗ № 10-1 (№ 23)

Укажите, какие внутренние силовые факторы возникают в поперечном сечении данного стержня.



$W_{н.о} = 100\ мм^3$

$[\sigma] = 90\ МПа$

☐ *крутящий момент M_x*

☐ *нормальная сила N*

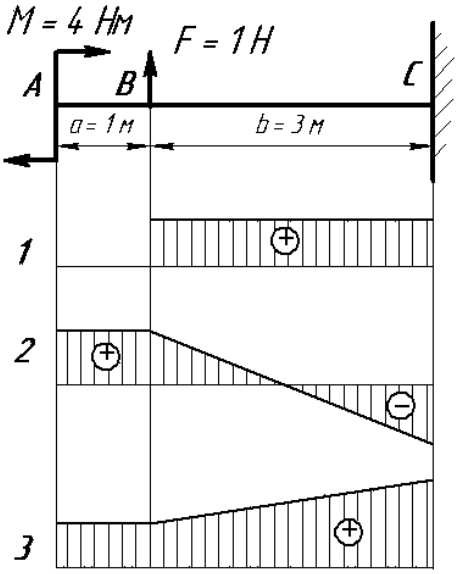
☐ *изгибающий момент M_y*

☐ *поперечная сила Q*

12. Задание {{ 15 }} ТЗ № 11-1 (№ 24)

Используя исходные данные, укажите, какой из графиков соответствует эпюре внутренних силовых факторов для данной схемы нагружения.

При изгибе укажите только эпюру изгибающих моментов:



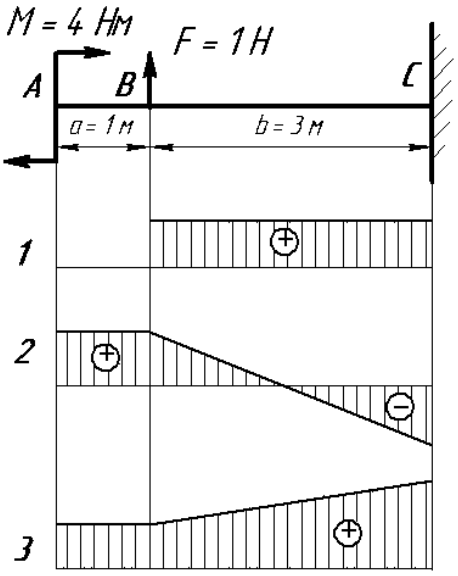
$W_{н.о} = 100\ мм^3$

$[\sigma] = 90\ МПа$

☐ 1
☐ 2
☐ 3

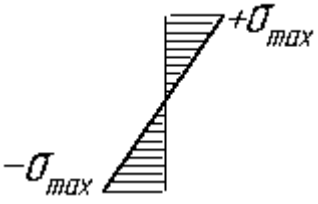
13. Задание {{ 16 }} ТЗ № 12-1 (№ 25)

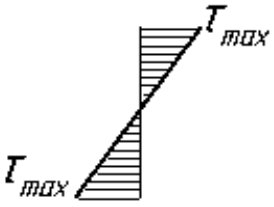
Укажите, какая эпюра распределения напряжений в поперечном сечении соответствует данной схеме нагружения стержня:



$W_{н.о} = 100\ мм^3$

$[\sigma] = 90\ МПа$

☐ 

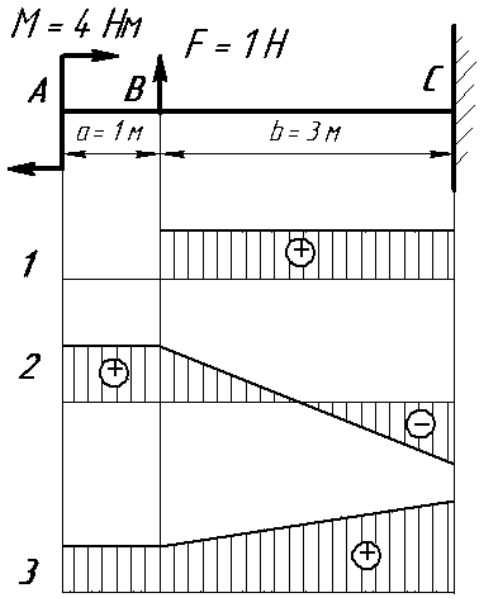
☐ 

☐

☐

14. Задание {{ 17 }} ТЗ № 13-1 (№ 26)

Укажите предположительно опасное сечение стержня:



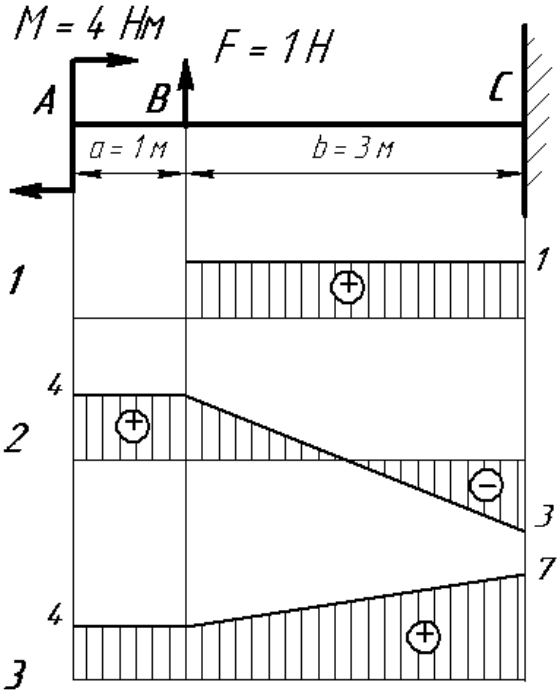
$W_{н.о} = 100\ мм^3$

$[\sigma] = 90\ МПа$

☐ A
☐ B
☐ C

15. Задание {{ 19 }} ТЗ № 14-1 (№ 27)

Выполняется ли условие прочности в опасном сечении:



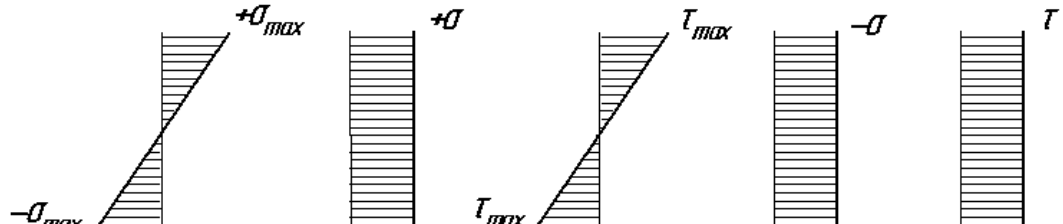
$W_{н.о} = 100\ мм^3$

$[\sigma] = 90\ МПа$

☐ да
☐ нет

16. Задание {{ 30 }} ТЗ № 5-2 (№ 6)

Укажите, какая из эпюр соответствует распределению напряжений при сдвиге.



1 2 3 4 5

17. Задание {{ 31 }} ТЗ № 9-1-д (№ 7)

Укажите расчетную зависимость рабочих напряжебний при сдвиге:

□ $\tau = \frac{Q}{A}$ □ $\sigma = \frac{M_Y}{W_{H.O.}}$ □ $\sigma = \frac{N}{A}$ □ $\tau = \frac{M_X}{W_P}$

18. Задание {{ 18 }} ТЗ № 15-1 (№ 4)

Укажите номер рисунка с изображение диаграммы растяжения.

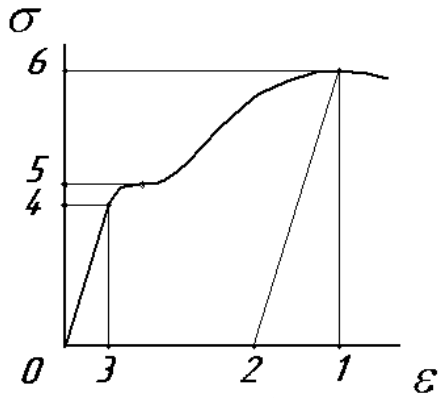


Рис.1

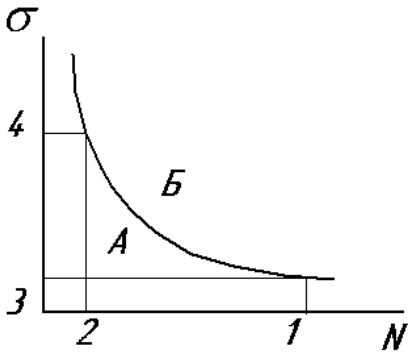
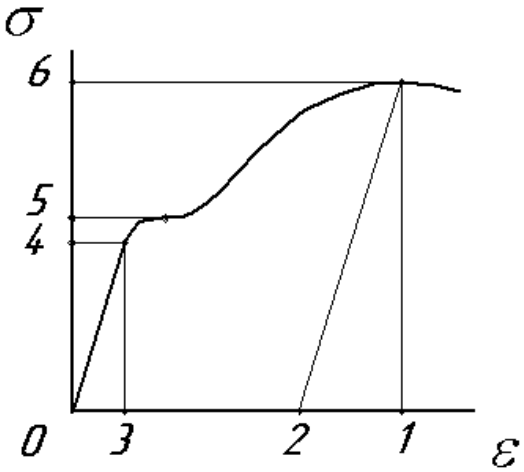


Рис.2

19. Задание {{ 20 }} ТЗ № 16-1 (№ 18)

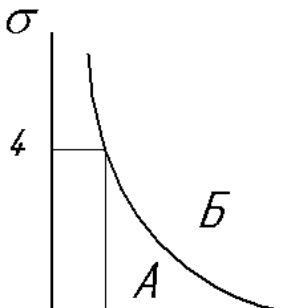


Укажите на диаграмме растяжения номер точки, соответствующей пределу текучести.

Укажите на диаграмме растяжения номер точки, соответствующей пределу прочности.

20. Задание {{ 23 }} ТЗ № 17-1 (№ 14)

На кривой усталости укажите номер точки, соответствующей пределу выносливости:
На кривой усталости укажите номер точки, соответствующей базовому числу циклов:
На кривой усталости укажите зону (А или Б), соответствующую испытанию образцов без разрушения.



21. Задание {{ 27 }} ТЗ № 19-1 (№ 20)

Укажите, какой вид нагружения вызывает усталостное разрушение:

- ☐ статическая нагрузка на неподвижную деталь
- ☐ динамическая однократная нагрузка
- ☐ статическая нагрузка на вращающуюся деталь
- ☐ повторно-переменные напряжения

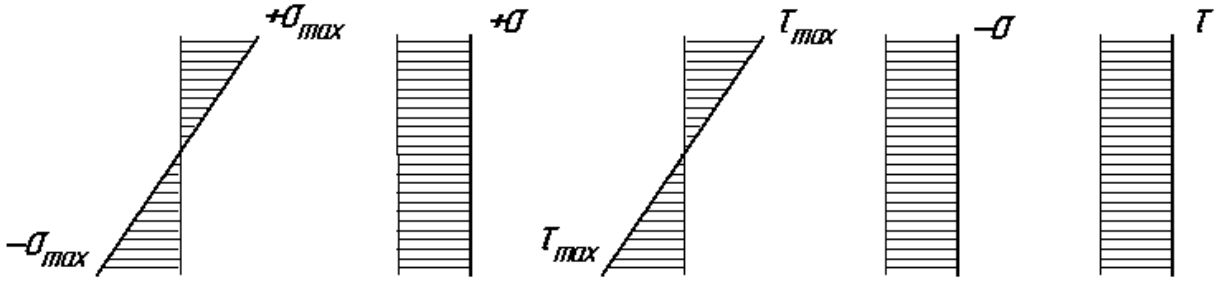
22. Задание {{ 28 }} ТЗ № 4-1 (№ 21)

Методом сечений можно определить:

- ☐ внешнюю нагрузку
- ☐ внутренние силы
- ☐ продольную деформацию
- ☐ опасное сечение
- ☐ поперечную деформацию

23. Задание {{ 29 }} ТЗ № 5-1 (№ 17)

Укажите, какая из эпюр соответствует распределению напряжений при изгибе.



1 2 3 4 5

24. Задание {{ 32 }} ТЗ № 9-2-д (№ 2)

Укажите расчетную зависимость рабочих напряжебний при растяжении:

□ $\tau = \frac{Q}{A}$ □ $\sigma = \frac{M_Y}{W_{H.O.}}$ □ $\sigma = \frac{N}{A}$ □ $\tau = \frac{M_X}{W_P}$

ТЕСТ 2
Цилиндрическая передача

1. Задание {{ 1 }} ТЗ № 1

Выберите правильный ответ.

В цилиндрической прямозубой передаче действуют силы.....

- ☐ Окружная на шестерне, равная окружной на колесе.
- ☐ Осевая на колесе, равная осевой на шестерне.
- ☐ Радиальная на колесе, равная радиальной на шестерне.
- ☐ Осевая на колесе, равная радиальной на шестерне.

2. Задание {{ 2 }} ТЗ № 2

Выберите правильный ответ.

Какие параметры влияют на величину ДЕЛИТЕЛЬНОГО диаметра шестерни?

- ☐ Угол зацепления.
- ☐ Модуль.
- ☐ Число зубьев.
- ☐ Угол наклона зубьев.

3. Задание {{ 3 }} ТЗ № 3

Выберите правильный ответ.

Какие параметры оказывают влияние на величину ПЕРЕДАТОЧНОГО ОТНОШЕНИЯ?

- ☐ Модуль
- ☐ Число зубьев
- ☐ Крутящий момент
- ☐ Частота вращения

4. Задание {{ 4 }} ТЗ № 4

Выберите правильный ответ.

Какие виды разрушений зубчатых колес определяют работоспособность закрытой (с обильной смазкой) цилиндрической предачи?

- ☐ Изнашивание поверхности зубьев.
- ☐ Контактно-усталостное выкрашивание
- ☐ Усталостная пломка зуба
- ☐ Коррозия

5. Задание {{ 5 }} ТЗ № 5

Выберите правильный ответ.

Назовите расположение осей валов в ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧЕ:

- ☐ Оси пересекаются
- ☐ Оси параллельны
- ☐ Оси перекрещиваются
- ☐ Оси совпадают

6. Задание {{ 6 }} ТЗ № 6

Выберите правильный ответ.

Какие факторы влияют на величину РАБОЧИХ ИЗГИБНЫХ напряжений у основания зубьев цилиндрической зубчатой передаче?

- ☐ Диаметр делительной окружности

☐ Материал зубчатого колеса
☐ Вращающий момент
☐ Заданный срок службы

7. Задание {{ 7 }} ТЗ № 7

Выберите правильный ответ

Какие параметры оказывают влияние на величину ДОПУСКАЕМЫХ напряжений зубчатых колес?

☐ Твердость материала
☐ Размеры зубчатых колес
☐ Срок службы передачи
☐ Передаваемая нагрузка

8. Задание {{ 8 }} ТЗ № 8

Выберите правильный ответ

Какой из элементов зубчатого колеса определяет работоспособность зубчатой передачи

☐ Диск
☐ Ступица
☐ Зубья
☐ Обод

9. Задание {{ 9 }} ТЗ № 9

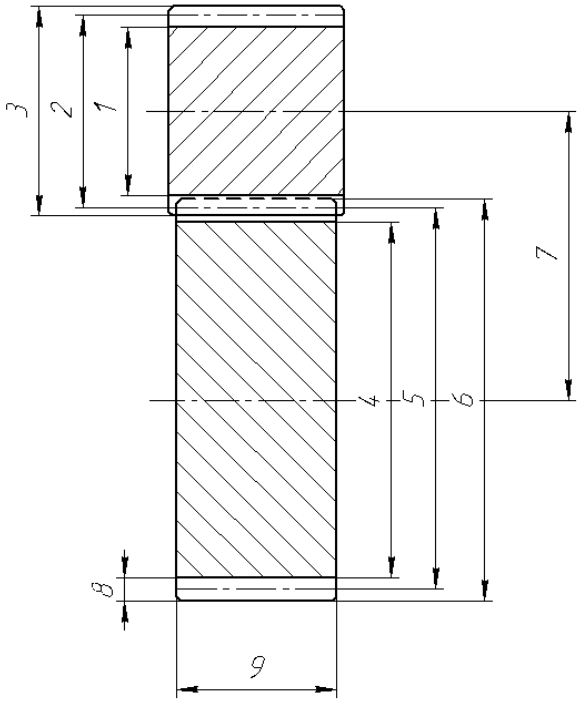
Выберите правильный ответ

Укажите условия, обеспечивающие работоспособность зубчатых передач:

☐ $\sigma_H \le [\sigma]_H$
☐ $\sigma_F \le [\sigma]_F$
☐ $n \ge [n]$
☐ $L_h \ge t_\Sigma$

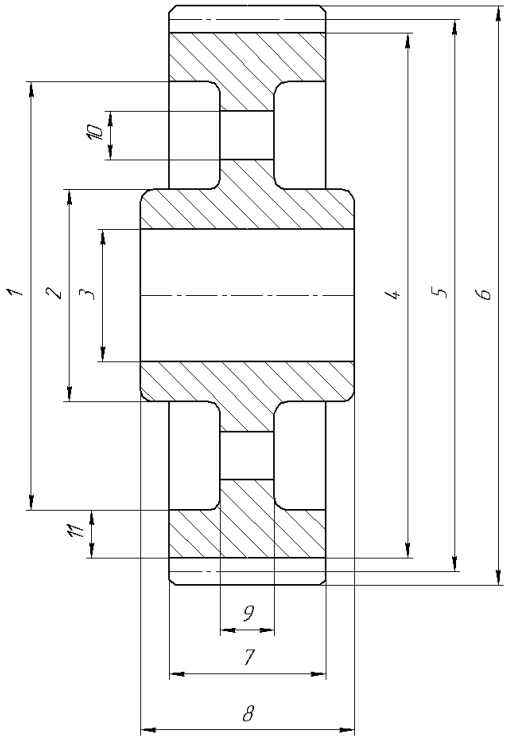
10. Задание {{ 12 }} ТЗ № 10

Укажите номер размерной линии обозначающей ДИАМЕТР ВПАДИН ШЕСТЕРНИ:
Укажите номер размерной линии обозначающей ДИАМЕТР ВЕРШИН ШЕСТЕРНИ:
Укажите номер размерной линии обозначающей ШИРИНУ ЗУБЧАТОГО ВЕНЦА КОЛЕСА:
Укажите номер размерной линии обозначающей ДЕЛИТЕЛЬНЫЙ ДИАМЕТР КОЛЕСА:
Укажите номер размерной линии обозначающей ВЫСОТУ ЗУБА:
Укажите номер размерной линии обозначающей МЕЖОСЕВОЕ РАССТОЯНИЕ:



11. Задание {{ 20 }} ТЗ № 16

Укажите номера размерных линий обозначающие ДЕЛИТЕЛЬНЫЙ ДИАМЕТР КОЛЕСА:
Укажите номера размерных линий обозначающие ДИАМЕТР ВЕРШИН КОЛЕСА:
Укажите номера размерных линий обозначающие ДИАМЕТР ВПАДИН КОЛЕСА:
Укажите номера размерных линий обозначающие ДЛИНУ СТУПИЦЫ:
Укажите номер размерной линии обозначающей ДИАМЕТР СТУПИЦЫ:
Укажите номер размерной линии обозначающей ТОЛЩИНУ ДИСКА:
Укажите номер размерной линии обозначающей ШИРИНУ ЗУБЧАТОГО ВЕНЦА:



ТЕСТ 3

Коническая передача

1. Задание {{ 1 }} ТЗ № 5

Укажите

какие силы действуют в КОНИЧЕСКОЙ передаче

- ☐ окружная на шестерне, равная окружной на колесе
- ☐ осевая на колесе, равная осевой на шестерне
- ☐ осевая на колесе, равная радиальной на шестерне
- ☐ радиальная на колесе, равная радиальной на шестерне

2. Задание {{ 2 }} ТЗ № 4

Укажите

какие параметры оказывают влияние на величину передаточного отношения

- ☐ внешний окружной модуль
- ☐ число зубьев
- ☐ крутящий момент
- ☐ угол делительного конуса

3. Задание {{ 3 }} ТЗ № 8

Укажите

какие параметры оказывают влияние на величину ДОПУСКАЕМЫХ напряжений зубчатых колес

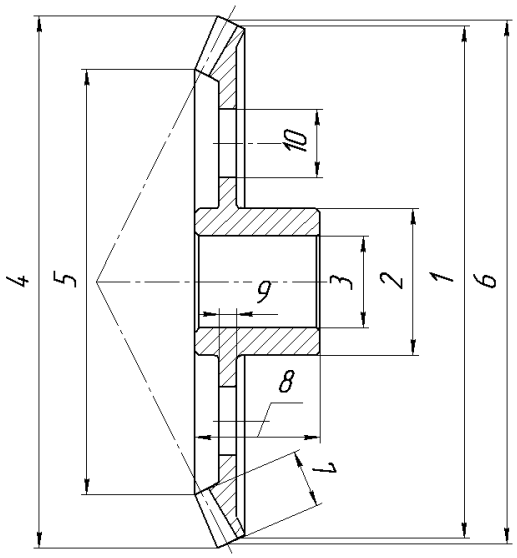
- ☐ твердость материала
- ☐ размеры зубчатых колес
- ☐ передаваемая нагрузка
- ☐ срок службы передачи

4. Задание {{ 4 }} ТЗ № 3

Укажите

какой из элементов зубчатого колеса определяют работоспособность зубсатой передачи

- ☐ диск
- ☐ ступица
- ☐ обод
- ☐ зубья



5. Задание {{ 5 }} ТЗ № 10

Укажите номер размерной линии, обозначающей

ДЕЛИТЕЛЬНЫЙ ДИАМЕТР КОЛЕСА

ДИАМЕТР ВЕРШИН КОЛЕСА

ДИАМЕТР ВПАДИН КОЛЕСА

ДЛИНУ СТУПИЦЫ

ТОЛЩИНУ ДИСКА

ДИАМЕТР СТУПИЦЫ

6. Задание {{ 10 }} ТЗ № 16

Укажите условия, обеспечивающие работоспособность зубчатых колес

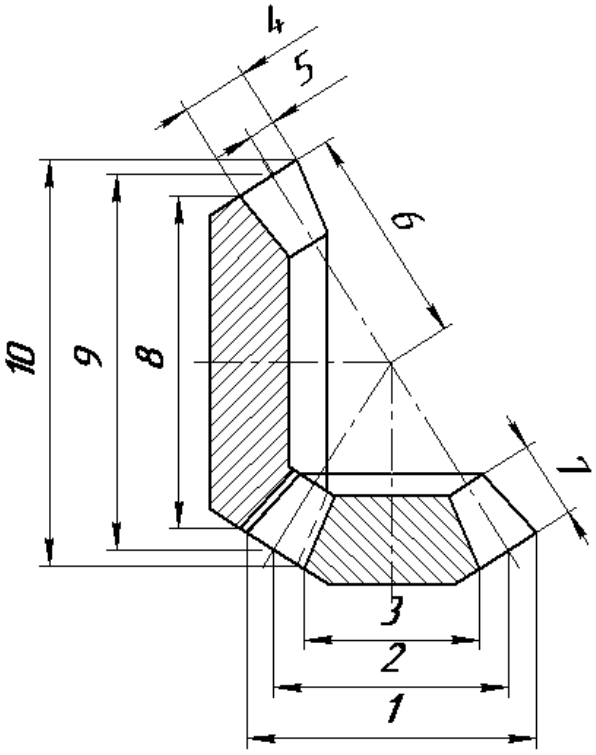
□ $\sigma_H \le [\sigma]_H$

□ $\sigma_F \le [\sigma]_F$

□ $n \le [n]$

□ $L_h \le t_\Sigma$

7. Задание {{ 11 }} ТЗ № 17



Укажите номер размерной линии

ДЕЛИТЕЛЬНОГО ДИАМЕТРА КОЛЕСА
ДИАМЕТРА ВЕРШИН ШЕСТЕРНИ
ДИАМЕТРА ВПАДИН КОЛЕСА
ДЕЛИТЕЛЬНОГО ДИАМЕТРА ШЕСТЕРНИ
ДИАМЕТРА ВЕРШИН КОЛЕСА
ВНЕШНЕГО КОНУСНОГО РАССТОЯНИЯ
ВЫСОТЫ ЗУБА
ДИАМЕТРА ВПАДИН ШЕСТЕРНИ

8. Задание {{ 19 }} ТЗ № 2

Укажите
какие параметры влияют на величину ДЕЛИТЕЛЬНОГО диаметра шестерни

- ☐ угол зацепления
- ☐ модуль
- ☐ число зубьев
- ☐ угол делительного конуса

9. Задание {{ 20 }} ТЗ № 7

Укажите
какая из сил участвует в передаче вращающего момента

- ☐ осевая
- ☐ окружная
- ☐ радиальная

10. Задание {{ 21 }} ТЗ № 1

Укажите
какие виды разрушений зубчатых колес определяют работоспособность закрытой (с обильной смазкой) конической передачи

- ☐ контактно-усталостное выкрашивание
- ☐ изнашивание поверхности зубьев
- ☐ усталостная поломка зубьев
- ☐ коррозия

11. Задание {{ 22 }} ТЗ № 6

Укажите
какие факторы влияют на величину РАБОЧИХ ИЗГИБНЫХ напряжений у основания зубьев конического зубчатого колеса

- ☐ частота вращения
- ☐ внешний окружной модуль
- ☐ материал зубчатого колеса
- ☐ ширина зубчатого колеса

12. Задание {{ 23 }} ТЗ № 9

Укажите правильнвй ответ:
в КОНИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧЕ оси...

- ☐ пересекаются
- ☐ параллельны
- ☐ перекрещиваются
- ☐ совпадают

Экзаменационный билет

Министерство образования и науки РФ
Федеральное бюджетное образовательное учреждение высшего образовательного образования
САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Механика»

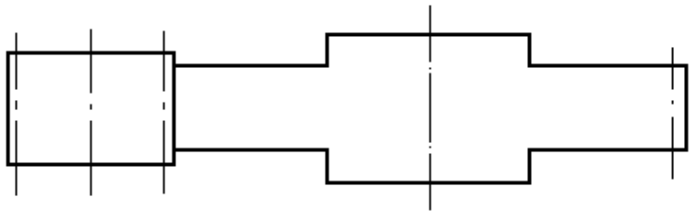
ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЙ БИЛЕТ № 14

по дисциплине Детали машин
(наименование дисциплины)

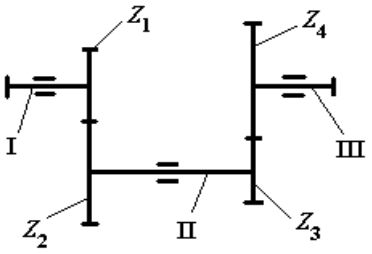
Профессор _____ Заведующий кафедрой _____ Я.М. Клебанов
подпись подпись

_____ _____
дата дата

1. Указать геометрические параметры цилиндрической передачи: d_1, d_2, b_1, b_2, a_w, $d_{ст}$, $l_{ст}$



Дано: $n_{II} = 200$ об/мин;
$u = 40$;
$Z_1 = 2$; $Z_2 = 20$;
$T_2 = 50$ Н·м



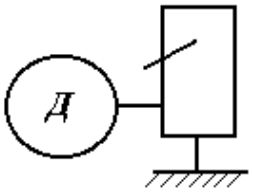
2. Найти: а) передаточное отношение 2-ой ступени u_2 ;
б) частоту вращения вала III

3. Найти: вращающие моменты T_1 ; T_4

4. Какие силы действуют в прямозубой цилиндрической передаче?
1. Продольная сила N. 2. Окружная сила F_t. 3. Радиальная сила F_r.
4. Поперечная сила Q. 5. Осевая сила F_a

5. В редукторе с передаточным отношением u частота вращения n **…**
1. Уменьшается в u раз; 2. Уменьшается в КПД раз; 3. Не изменяется ;
4. Увеличивается в u раз; 5. Увеличивается в КПД раз

6. Какая передача обеспечивает заданное движение ?



7. От каких параметров зависит величина допускаемых изгибных напряжений $[\sigma]_F$?
1. Диаметр колеса; 2. Твердость НВ; 3. Срок службы t_Σ;
4. Модуль зацепления m; 5. Мощность двигателя

8. При увеличении каких параметров размеры цилиндрической передачи увеличиваются?
1. Скорость скольжения $V_{ск}$. 2. Твердость НВ. 3. Вращающий момент T.
4. Передаточное отношение u. 5. Модуль зацепления m.

9. С увеличением диаметра колеса d изгибные напряжения σ_F…
1. Увеличиваются 2. Уменьшаются 3. Не изменяются

10. Дано: Число зубьев шестерни $z_1 = 40$; число зубьев колеса $z_2 = 160$; модуль $m = 2$ мм.
Найти: 1. Диаметр выступов колеса d_{a2}. 2. Межосевое расстояние a_w.
3. Делительный диаметр шестерни d_1.

Методические указания к РГР
Техническое задание №

Частота вращения вала двигателя $n_{дв} = \ldots\ldots\ldots об/мин$;
Частота вращения выходного вала $n_{вых} = \ldots\ldots\ldots об/мин$;
Вращающий момент на выходном валу $T_{вых} = \ldots\ldots\ldots Н \cdot м$;
Срок службы редуктора (в годах) $L = \ldots\ldots\ldots$;
Тип редуктора: **конический (КР);**
Коэффициенты нагрузки $К_{год} = \ldots\ldots\ldots$; $К_{сут} = \ldots\ldots\ldots$

Введение

Большинство современных машин и механизмов технологического и транспортного оборудования имеют привод, содержащий электродвигатель и редуктор.

Конструктивно привод состоит из двигателя и редуктора, соединенные муфтой, которые смонтированы на общем основании: литой плите или раме (рис. 1). Выходной вал редуктора стыкуется с исполнительным агрегатом, рабочее сопротивление которого составляет нагрузку на привод.

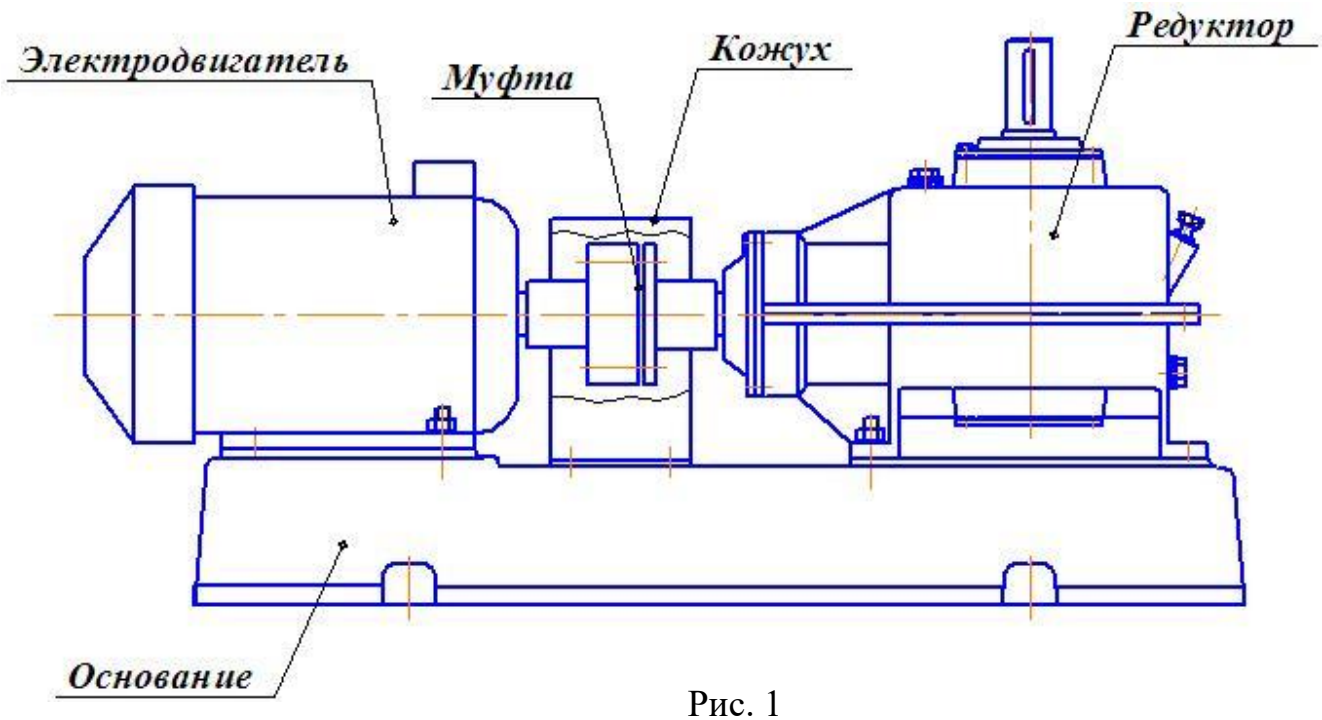


Рис. 1

Редуктор – это механизм, служащий для уменьшения частоты вращения и увеличения вращающего момента. Редуктор состоит из литого чугунного корпуса, в котором размещены зубчатые или червячные передачи, закрепленные на валах.

Передача движения от колес к валам и наоборот производится с помощью шпонок. Валы опираются на подшипники качения, размещенные в гнездах корпуса. Подшипники удерживаются от осевого смещения крышками, которые с двух сторон привертываются винтами к корпусу редуктора.

Для уменьшения потерь на трение детали передач смазываются маслом. Уровень масла контролируется маслоуказателем. Масло заливается через смотровое окно. Это окно закрывается крышкой с пробкой-отдушиной через которую из редуктора улетучиваются пары разогретого масла. Загрязненное масло удаляется через сливное отверстие, закрываемое резьбовой пробкой. Для предотвращения выбросов масла из редуктора на входном и выходном валах устанавливаются уплотнения в виде резиновых манжет.

Все детали редуктора разделяются на оригинальные и стандартные. Оригинальные – это детали передач (шестерни, колеса, червяк), валы, корпус редуктора. Размеры валов и колес находят из проектных и проверочных расчетов. Размеры элементов корпуса принимают в основном конструктивно. Стандартные изделия (шпонки, подшипники, муфты) подбирают по размерам валов и для них выполняют только проверочные расчеты. Остальные детали (крышки, маслоуказатель, пробки, уплотнения и т.д.) не воспринимают нагрузку и их размеры назначают конструктивно.

1. Расчет мощности и выбор двигателя

Электродвигатель обеспечивает начальное вращательное движение с требуемой мощностью и частотой вращения. Стандартные двигатели (рис.2) общепромышленного применения серии 4А (ГОСТ 19523-81) имеют частоту вращения вала 750, 1000, 1500 и 3000 об / мин.

Требуемая мощность двигателя определяется зависимостью:

$$P'_{дв} = \frac{T_{вых} \cdot n_{вых}}{9550 \cdot \eta_p}; \qquad \text{кВт}$$

где $\eta_p = 0{,}96....0{,}97$ - к.п.д. конического редуктора.

По таблице 1 выбирают тип электродвигателя с заданной частотой вращения $n_{дв}$ и мощностью $P_{дв} \geq P'_{дв}$

Таблица 1

$P_{дв}$, кВт	$n_{дв}$, об/мин			
	3000	1500	1000	750
0,55	63B	71A	71B	80B
0,75	71A	71B	80A	90L
1,1	71B	80A	80B	90L
1,5	80A	80B	90L	100L
2,2	80B	90L	100L	112M
3,0	90L	100S	112M	112M
4,0	100S	100L	112M	132S
5,5	100L	112M	132S	132M
7,5	112M	132S	132M	160S
11	132M	132M	160S	160M

На рис. 2 представлен эскиз двигателя, на котором следует проставить размеры, взятые из таблицы 2.

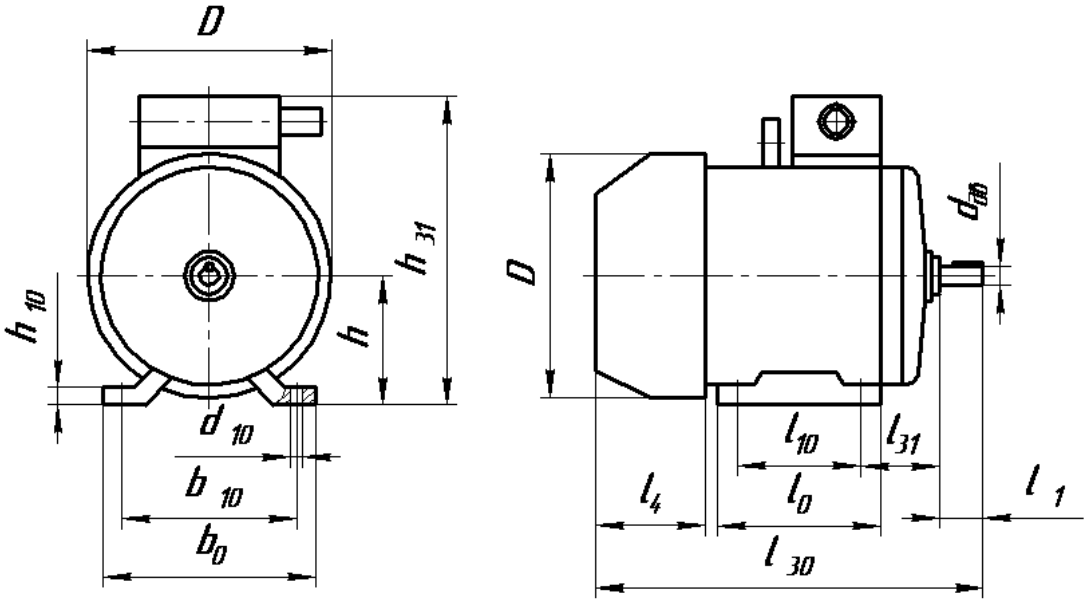


Рис. 2

Таблица 2

Тип двигателя	Основные размеры электродвигателей, исполнение М100													
	$d_{дв}$	l_1	l_{30}	h_{31}	D	h	l_{31}	l_{10}	l_0	l_4	b_{10}	b_0	d_{10}	h_{10}
A50A(B)	9	20	174	142	94	50	32	63	86	40	80	110	5,8	б
A56A(B)	11	23	194	152	105	56	36	71	94	45	90	120	5,8	7
A63A(B)	14	30	216	164	120	63	40	80	108	70	100	135	7,0	7
71A(B)	19	40	285	201	130	71	45	90	108	85	112	150	7,0	9
80A(B)	22	50	320	218	150	80	50	100	140	90	125	175	10	10
90L	24	50	350	243	160	90	56	125	165	90	140	190	10	11
100S	28	60	362	263	190	100	63	112	160	95	160	220	12	12
100L	28	60	392	263	190	100	63	140	188	95	160	220	12	12
112M	32	80	452	310	210	112	70	140	188	125	190	250	12	12
132S	38	80	480	350	250	132	89	140	188	140	216	280	12	13
132M	38	80	530	350	250	132	89	178	226	150	216	280	12	13
160S	42	110	624	430	300	160	108	178	238	190	254	330	15	16
160M	42	110	667	430	300	160	108	210	277	200	254	330	15	16

2. Кинематический и силовой анализ

Передаточное отношение – основной параметр, характеризующий способность передаточного механизма изменять частоту вращения и вращающий момент ведомого звена по отношению к ведущему.

Передаточное отношение редуктора равно:

$$u = \frac{n_{дв}}{n_{вых}}$$

Частота вращения первого (входного) вала: $n_1 = n_{дв}$, об/мин;

Частота вращения второго (выходного) вала: $n_2 = \frac{n_1}{u}$, об/мин.

Вращающий момент на выходном (втором) валу:

$$T_2 = T_{вых}, \quad \text{Нм.}$$

Вращающий момент на ведущем валу:

$$T_1 = \frac{T_2}{U \cdot \eta}; \text{ Нм.}$$

На кинематической схеме привода (рис. 3) следует указать параметры, рассчитанные в данном разделе.

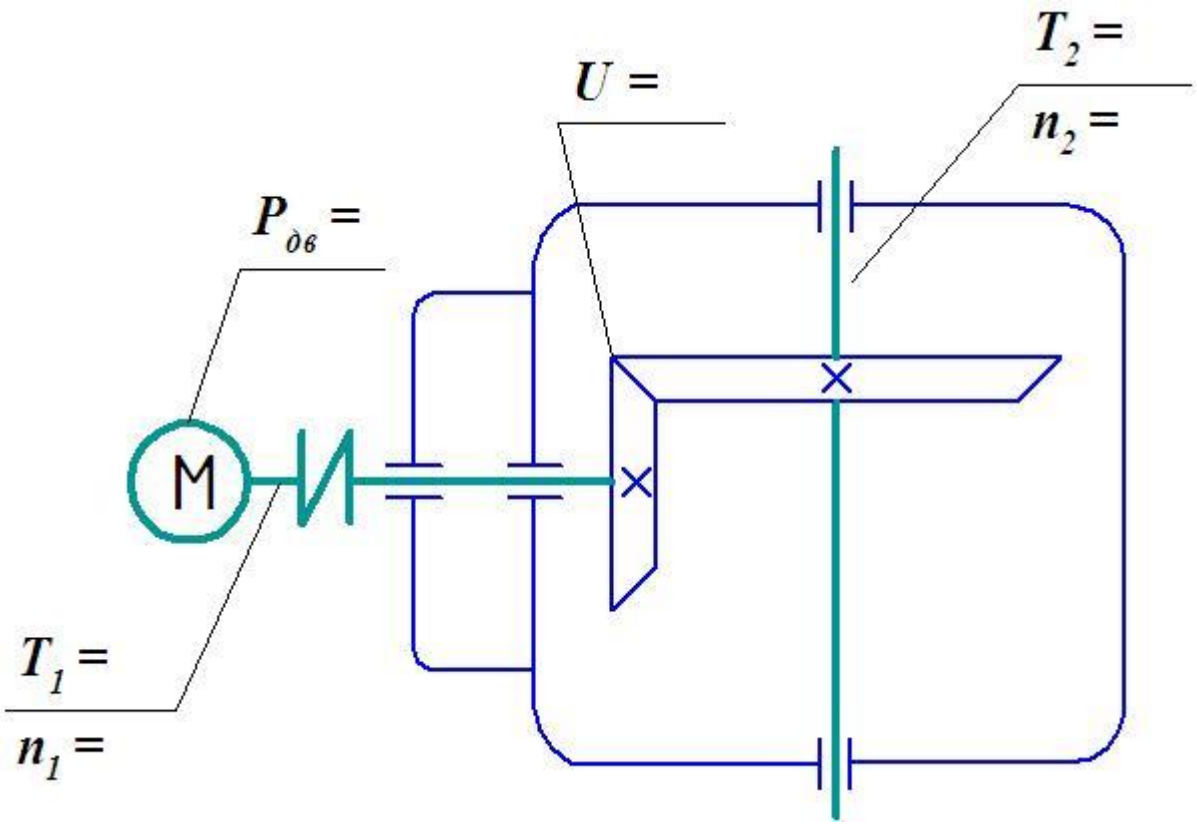


Рис.3

3. Выбор материала и расчет допускаемых напряжений для конических зубчатых колес.

Зубчатые колеса конических передач изготавливают из сталей, подвергаемых термической обработке. Марку стали выбирают в зависимости от назначаемой твердости *HB*. Ориентировочно твердость стали можно определить по зависимости:

$$HB' = 7000 \cdot \sqrt{\frac{T_1}{d_{дв}^3}},$$

где T_1 - вращающий момент на входном валу редуктора, *Нм*;

$d_{дв}$ - диаметр вала электродвигателя в *мм*, принимается из таблицы 2.

Величину HB' округляем до целого числа HB (в большую сторону), кратного 10. Например, пусть расчетное значение $HB' = 214$. Тогда принимаем $HB = 220$. По таблице 3 назначаем марку стали и выписываем её характеристики: предел прочности $\sigma_в$ и предел текучести σ_T, а также вид термообработки.

Таблица 3

Сталь	Термообработкака	Твердость НВ
сталь 35	Нормализация	160-180
сталь 45	— // —	185-200
сталь 45	Улучшение	205-240
сталь 40Х	— // —	245-260
сталь 40Х	— // —	265-280

Допускаемые напряжения определяют в зависимости от видов повреждений зубчатых передач, режима нагружения, механических характеристик материала зубчатых колес и заданного срока службы передачи.

Основными видами повреждений зубчатых передач являются:

а) ***усталостное выкрашивание*** – разрушение рабочих поверхностей зубьев, вызываемое переменными контактными напряжениями σ_H.

б) ***поломка зуба*** – разрушение в результате развития усталостной трещины, образующейся под действием переменных изгибных напряжений σ_F.

Допускаемые напряжения на контактную $[\sigma]_H$ и изгибную $[\sigma]_F$ выносливость рассчитывают для наиболее слабого звена в передаче. Таким звеном для конических передач является шестерня, испытывающая наибольшее количество циклов нагружения в течение заданного срока службы привода. L.

Фактическое число циклов нагружения ведущей шестерни за весь период эксплуатации определяется по зависимости:

$$N_\Sigma = 60 t_\Sigma n_1,$$

где n_1 - частота вращения вала шестерни, об/мин;

t_Σ - суммарное время работы передачи в часах:

$$t_\Sigma = 365 L K_{год} 24 K_{сут}, \quad \text{час.}$$

Параметры L, $K_{год}$, $K_{сут}$ приведены в техническом задании.

Допускаемые напряжения на контактную выносливость определяют по формуле:

$$[\sigma]_H = \frac{\sigma_{HO}}{S_H} \cdot K_{HL}, \quad \text{МПа;}$$

где σ_{HO} - предел контактной выносливости, *МПа* ;

$$\sigma_{HO} = 2 \cdot HB + 70;$$

$S_H = 1{,}1$ - коэффициент запаса контактной прочности;

K_{HL} - коэффициент долговечности;

$$K_{HL} = \sqrt[6]{\frac{N_{HO}}{N_\Sigma}}$$

Здесь N_{HO} - базовое число циклов:

$$N_{HO} = 30(HB)^{2,4}$$

Диапазон значений коэффициента K_{HL} находится в пределах

$$1{,}0 \le K_{HL} \le 2{,}4$$

Если при расчете получится, что $K_{HL} < 1{,}0$, то следует принять $K_{HL} = 1{,}0$.

Допускаемое напряжение на изгибную выносливость $[\sigma]_F$ определяют по формуле:

$$[\sigma]_F = \frac{\sigma_{FO}}{S_F} \cdot K_{FL}, \quad \text{МПа;}$$

где σ_{FO} - предел изгибной выносливости определяется в зависимости от твердости материала *HB*:

$$\sigma_{FO} = 1{,}8 \cdot HB, \quad \text{МПа.}$$

$S_F = 1{,}75$ - коэффициент запаса изгибной прочности;

K_{FL} - коэффициент долговечности;

$$K_{FL} = \sqrt[6]{\frac{N_{FO}}{N_\Sigma}}$$

Здесь $N_{FL} = 4 \cdot 10^6$ - базовое число циклов.

Диапазон значений коэффициента K_{FL} находится в пределах:

$$1{,}0 \le K_{FL} \le 2{,}0$$

Если при расчете получится, что $K_{FL} < 1{,}0$, то следует принять $K_{FL} = 1{,}0$.

4. Расчет зубчатых конических передач

Конические зубчатые колеса применяют для передачи вращения между валами, оси которых пересекаются. Угол пересечения оси может быть от 10° до 170°. Чаще всего оси пересекаются под углом 90°.

Изготовление и монтаж конических колес сложнее, чем цилиндрических. Используются они как правило в быстроходной ступени, имеющей меньшую нагрузку. При сборке требуется точная регулировка.

Ниже приводится методика расчета и проектирования прямозубых передач с углом пересечения осей 90°.

4.1. Расчет чисел зубьев передачи.

Передаточное отношение ***u*** реализуется в зубчатых механизмах за счет соотношения чисел зубьев ведомого Z_2 и ведущего Z_1 звеньев.

Расчетное число зубьев шестерни определяют по зависимости:

$$Z_1' = 22 - 9\lg(u)$$

Значение Z_1' округляют до целого числа Z_1. Если Z_1 окажется меньше 17, то принять $Z_1 = 17$.

Расчетное число зубьев колеса Z_2', необходимое для реализации передаточного отношения ***u***, определяют по зависимости:

$$Z_2' = Z_1 u$$

Полученное значение Z_2' округляют до целого числа Z_2.

4.2. Проектный расчет передачи.

Рассчитывают основные геометрические параметры (с точностью до 0,01мм) из условия контактно-усталостной выносливости активных поверхностей зубьев.

Расчетный внешний делительный диаметр шестерни:

$$d'_{e1} = 1816 \cdot \sqrt[3]{\frac{T_1 \cdot K_H}{u \cdot [\sigma]_H^2}}, \text{ мм}$$

где K_H = 1,1 – коэффициент нагрузки, учитывающий неравномерность её распределения.

Расчетный внешний модуль зацепления

$$m'_e = \frac{d'_{e1}}{Z_1}, \text{ мм}$$

Полученную величину m'_e следует округлить в большую сторону по ряду:
1 1,25 1,5 2 2,5 3 4 5 6 8.

Внешнее конусное расстояние

$$R_e = 0{,}5 \cdot m_e \cdot \sqrt{Z_1^2 + Z_2^2}, \text{ мм.}$$

Углы делительных конусов

колеса: $\delta_2 = arctg\, u$,

шестерни: $\delta_1 = 90^\circ - \delta_2$.

Внешний диаметр делительной окружности шестерни:

$$d_{e1} = m_e \cdot Z_1, \text{ мм.}$$

Внешний диаметр делительной окружности колеса:

$$d_{e2} = m_e \cdot Z_2, \text{ мм.}$$

Внешние диаметры окружностей вершин зубьев шестерни d_{ae1} и колеса d_{ae2}:

$$d_{ae1} = d_1 + 2 \cdot m_e \cdot \cos\delta_1, \text{ мм}$$
$$d_{ae2} = d_2 + 2 \cdot m_e \cdot \cos\delta_2, \text{ мм}$$

Ширина зубчатого зацепления

$$b' = 0{,}285 \cdot R_e.$$

Величину b' следует округлить в большую сторону до четного числа.
Внешняя высота зуба:

$$h_e = 2{,}2 \cdot m_e$$

4.3. Проверочный расчет передачи.

Проверяют условия контактной и изгибной выносливости зубьев шестерни, как наиболее слабого звена зубчатой передачи.

Рабочее контактное напряжение :

$$\sigma_H = \frac{75270}{d_{e1}} \cdot \sqrt{\frac{T_1 \cdot K_H}{d_{e1} \cdot u}}, \quad \text{МПа.}$$

Условие контактной выносливости: $\sigma_H \le [\sigma]_H$.

Если это условие не выполняется, следует повторить расчет с п. 1.

Рабочее напряжение изгиба в зубьях шестерни:

$$\sigma_{F1} = \frac{3{,}2 \cdot 10^3 \cdot T_1 \cdot K_F \cdot Y_{F1}}{d_{e1} \cdot b \cdot m_e}, \quad \text{МПа}$$

где K_F = 1,3 – коэффициент нагрузки при изгибе, учитывающий неравномерность распределения нагрузки и её динамический характер;

Y_F – коэффициент формы зуба, равный:

$$Y_{F1} = \frac{2 - 8 \cdot \cos\delta_1 / Z_1}{0{,}55 - 3{,}1 \cdot \cos\delta_1 / Z_1}.$$

Условие изгибной выносливости: $\sigma_F \le [\sigma]_F$

Если условие изгибной выносливости не выполняется, то увеличивают модуль зацепления, принимая следующее большее стандартное значение, и повторяют расчет, начиная с п. 3 проектного расчета передачи.

4.4. Усилия в зацеплении.

Для последующих расчетов по оценке работоспособности валов и подшипников определяют силы, возникающие в зацеплении при передаче вращающего момента и действующие на колесо (обозначено индексом 2).

- окружная сила F_t, H:

$$F_{t2} = \frac{2 \cdot 10^3 \cdot T_{вых}}{0{,}875 \cdot d_{e2}},$$

- радиальная сила F_r, H:

$$F_{r2} = F_{t2} \cdot tg\,20^\circ \cdot \cos\delta_2,$$

где α = 20° - угол зацепления.

- осевая F_a, H:

$$F_{a2} = F_{t2} \cdot tg\,20^\circ \cdot \sin\delta_2,$$

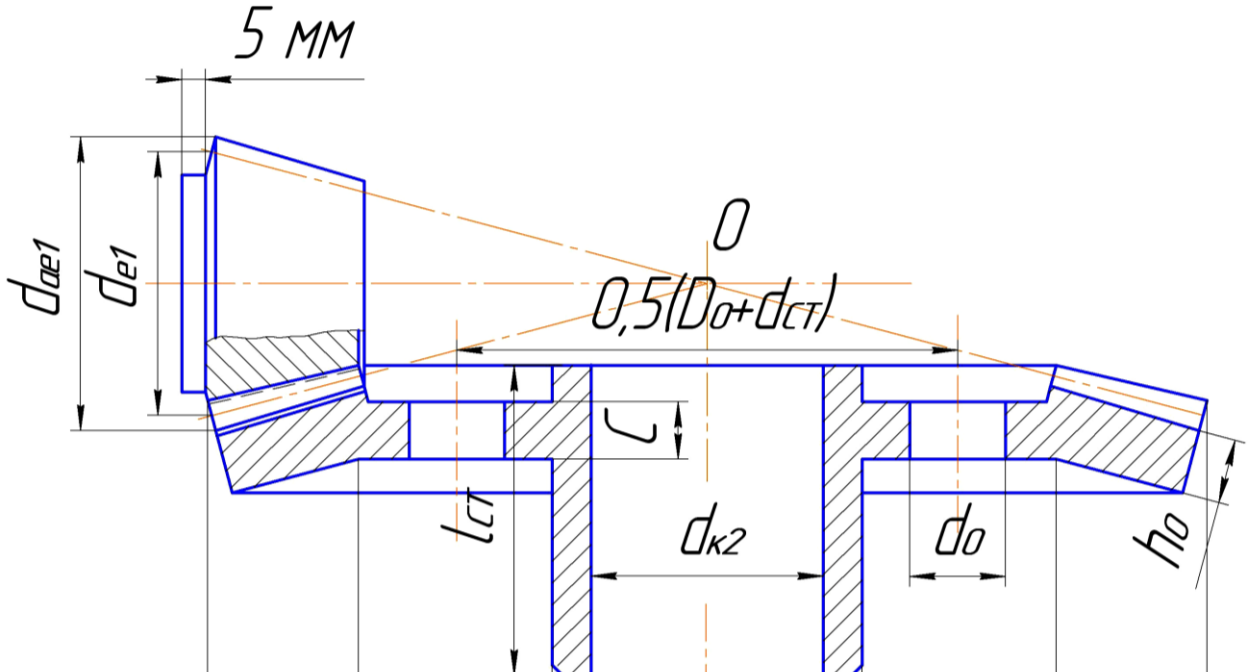


Рис. 4 Эскиз конического зацепления

5. Проектный расчет валов. Подбор подшипников

Валы предназначены для поддержания вращающихся деталей и передачи крутящих моментов. Ведущий вал получает движение от двигателя и большинство из них изготавливаются заодно с шестерней.

При проектном расчете валов используют основное уравнение прочности при кручении и определяют диаметры консольных участков входного и выходного валов по заниженным касательным напряжениям $[\tau]$

$$d_1' = 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{T_{вх}}{0{,}2 \cdot [\tau]}} \quad \text{мм}; \qquad d_2' = 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{T_{вых}}{0{,}2 \cdot [\tau]}} \ldots \text{мм}.$$

где $T_{вх}$, $T_{вых}$ - крутящие моменты на входном и выходном валах редуктора, Нм;

$[\tau]$ - допускаемое касательное напряжение в МПа. Им предварительно задаются в пределах 20÷40 МПа для валов, на которых установлены зубчатые колеса.

По этим значениям определяют только приблизительные значения входного и выходного концов валов. Затем диаметр входного вала согласовывают со стандартной муфтой таким образом, чтобы можно было соединить этой муфтой вал двигателя и вал редуктора. Часто принимают диаметр вала под муфту равным диаметру вала двигателя. $d_{M1} = d_{дв}$.

Валы выполняют ступенчатыми для удобства фиксации устанавливаемых на них деталей.

5.1. Входной вал.

Предварительный диаметр выходного участка вала равен:

$$d_{в1}' = 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{T_1}{0{,}2 \cdot [\tau]}}, \text{ мм}$$

где [τ] = 20 МПа – допускаемое напряжение кручения.

Принимаем $d_{в1} = d_{дв}$ мм.

Диаметр ступени под уплотнение:

$$d_{у1} = d_{в1} + (3 \div 5) \text{ мм}$$

Значение диаметра $d_{у1}$ принять по ряду: 20 22 24 25 28 30 32 35 36 38 40 42.

Диаметр резьбы цилиндрической гайки:

$$d_P = d_{y1} + (3...5) \text{мм}$$

Диаметр ступени под подшипники:

$$d_{п1} = d_p + (1 \div 4) \text{ мм}$$

Значение диаметра $d_{п1}$ принять по ряду: 20 25 30 35 40 45.

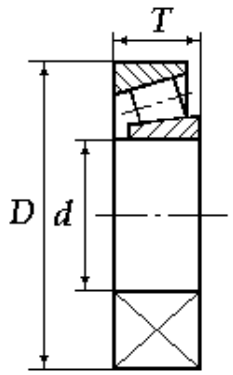
Диаметр упорного буртика:

$$d_{б1} = d_{п1} + 10 \text{ мм}$$

В опорах валов устанавливаем конические роликоподшипники легкой серии. Габаритные размеры берутся из каталога на роликоподшипники (см. таблицу 3).: $d = d_{п1} =$ мм, $D =$ мм, $T =$ мм.

Динамическая грузоподъемность подшипника $C_r =$.....Н.

Таблица 3



Обозначение	*d*	*D*	*T*	C_r, Н
7204	20	47	15,5	21000
7205	25	52	16,5	24000
7206	30	62	17,5	31000
7207	35	72	18,5	38500
7208	40	80	20	46500
7209	45	85	21	50000
7210	50	90	21,75	56000
7211	55	100	23	65000
7212	60	110	24	78000
7213	65	115	25,5	86000

5.2. Выходной вал.

Предварительный диаметр выходного участка вала равен:

$$d'_{в2} = 10 \cdot \sqrt[3]{\frac{T_{вых}}{0,2 \cdot [\tau]}}, \text{ мм}$$

Если $d'_{в2} \le d_{в1}$, то принимаем $d_{в2} = d_{в1} + 4$ мм

Диаметр ступени под уплотнение:

$$d_{у2} = d_{в2} + (3 \div 5) \text{ мм}$$

Значение диаметра $d_{у2}$ принять по ряду: 30 32 35 36 38 40 42 45 48 50 52 55.

Диаметр ступени под подшипники:

$$d_{п2} = d_{у2} + (1 \div 3) \text{ мм.}$$

Значение диаметра $d_{п1}$ принять по ряду: 20 25 30 35 40 45 50 55 60.

Диаметр ступени под коническое колесо:

$$d_{к2} = d_{п2} + (1 \div 2) \text{ мм.}$$

Диаметр упорного буртика:

$$d_{б2} = d_{к2} + 10 \text{ мм.}$$

В опорах валов устанавливаем конические роликоподшипники легкой серии Габаритные размеры подшипников берутся по ГОСТ 333-79 (см. таблицу 3):
$d = d_{п2} =$ мм, $D =$ мм, $T =$ мм

Динамическая грузоподъемность подшипников $C_r =$ Н

6. Расчет элементов корпуса редуктора.

Толщина стенки корпуса и крышки редуктора:

$$\delta = 0{,}05 \cdot R_e + 1, \quad \text{мм.}$$

Если $\delta < 8$ мм, принять $\delta = 8$ мм.

Толщина фланца крышки и корпуса редуктора:

$$\delta_{фл} = 1{,}5 \cdot \delta, \text{ мм.}$$

Толщина фланца основания корпуса:

$$\delta_{осн} = 2{,}35\delta, \text{ мм.}$$

Диаметр фундаментных болтов:

$$d'_ф = 0{,}072 \cdot R_e + 12, \text{ мм.}$$

Диаметр болтов у подшипников:

$$d_1 = 0{,}75 \cdot d_ф$$

Диаметр стяжных болтов, соединяющих основание корпуса с крышкой:

$$d_Б = 0.6 \cdot d_ф.$$

Диаметр крепежных болтов для крышек подшипников:
для входного вала $d_{ёК} = 6$ мм,
для выходного вала $d_{ёК} = 8$ мм.

Все рассчитанные величины диаметров болтов уточняются по ГОСТ.

Ширина фланца корпуса и крышки:

$$K = 2{,}5d_Б, \quad \text{мм.}$$

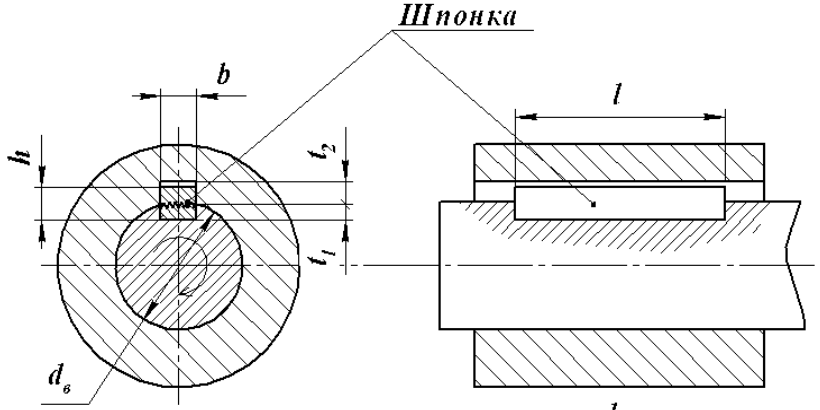
Ширина фланца основания корпуса:

$$K_Л = 2{,}5d_ф \quad \text{мм.}$$

По результатам расчетов п. 4…6 следует выполнить эскизную компоновку сборочного чертежа редуктора. После уточнения линейных размеров отдельных деталей продолжается дальнейший расчет.

7. Подбор и проверочный расчет шпоночных соединений

Шпонки предназначены для передачи вращающих моментов в соединениях вал-ступица. В редукторах широко применяют призматические шпонки с закругленными концами, которые устанавливают на консольных участках входного и выходного валов и в местах установки на валах зубчатых колес.



Боковые грани шпонки испытывают деформацию смятия. Для стальных шпонок $[\sigma]_{см} = 100...120$ МПа.

Сечение шпонки $b \times h$ выбирается по диаметру вала, длина l назначается на 5÷10 мм меньше длины соответствующей ступени вала L и принимается по ряду длин стандартных шпонок (см. таблицу 4). В обозначении шпонки указываются ее размеры: $b \times h \times l$ мм.

7.1. Входной вал

По диаметру $d_{в1}$ и длине выходного участка $L = 2d_{в1}$ (см. эскизную компоновку) выбираем шпонку …×…×… мм.

Проверочный расчет на смятие:

$$\sigma_{см} = \frac{2 \cdot 10^3 \cdot T_1}{d_{в1} \cdot (h - t_1) \cdot (l - b)} \le [\sigma]_{см},$$

где t_1 – глубина паза на валу (см. таблицу 4).

7.2. Выходной вал

Для выходного участка по диаметру $d_{в2}$ и его длине $L = 2d_{в2}$ (см. эскизную компоновку) выбираем шпонку …×…×… мм.

Проверочный расчет на смятие:

$$\sigma_{см} = \frac{2 \cdot 10^3 \cdot T_{вых}}{d_{в2} \cdot (h - t_1) \cdot (l - b)} \le [\sigma]_{см}$$

Для ступени под колесо сечение шпонки $b \times h$ также выбираем по диаметру $d_{к2}$, а длину – по длине ступицы колеса $L = l_{ст}$ (см. эскизную компоновку): …×…×… мм.

Проверочный расчет на смятие:

$$\sigma_{см} = \frac{2 \cdot 10^3 \cdot T_{вых}}{d_{к2} \cdot (h - t_1) \cdot (l - b)} \le [\sigma]_{см}$$

Параметры шпоночного соединения по ГОСТ 23360-78

Таблица 4

Диаметр вала	b	h	Глубина паза вала, t_1	Глубина паза отверстия,

				t_2
17…22	6	6	3,5	2,8
23…30	8	7	4	3,3
31…38	10	8	5	3,3
39…44	12	8	5	3,3
45…50	14	9	5,5	3,8
51…58	16	10	6	4,3
59…65	18	11	7	4,4

Стандартный ряд длин: 20 22 25 28 32 36 40 45 50 56 63 70 80 90 100 110

8. Проверочный расчет выходного вала.

Под действием сил в зацеплении колес в поперечных сечениях вала возникают повторно-переменные напряжения, которые приводят к усталостному разрушению. Проверочный расчет на усталостную прочность ведется в опасном сечении вала. Оно определяется при помощи эпюр внутренних силовых факторов.

Вал считается прочным, если выполняется условие:

$$n \geq [n],$$

где n - рабочий коэффициент запаса усталостной прочности;

$[n]=1{,}7$ - допускаемый коэффициент запаса усталостной прочности.

Расчет ведется в следующей последовательности:

1. Используя эскизную компоновку редуктора, составляют расчетную схему вала с указанием действующих нагрузок и линейных размеров (см. рис. 5).

2. Используя принцип суперпозиции, рассматривают нагрузки, действующие в каждой плоскости. Определяют реакции в каждой опоре R_{AZ}, R_{BZ}, R_{AY}, R_{BY}, путем составления уравнений равновесия плоской системы сил.

3. Используя метод сечений рассчитывают и строят эпюру изгибающих моментов M_Y, M_Z и эпюру крутящих моментов M_X.

4. Выполняется расчет на прочность в опасном сечении, где величина моментов наибольшая.

8.1. Расчет и построение эпюр изгибающих моментов

Расчет на усталостную прочность ведется в наиболее опасном сечении, которое определяется по эпюре моментов. Для их построения определим реакции в опорах для каждой плоскости.

Нагрузкой на вал являются усилия в зацеплении колес (см раздел 4.4.).

F_{t2} = Н; F_{r2} = Н; F_{a2} = Н;

l_1 = мм; l_2 = мм; $d_2 = 0{,}875 \cdot d_{e2}$, мм.

Расстояния l_1 и l_2 измеряются на эскизной компоновке между внутренним торцом роликоподшипников и серединой ширины конического колеса b_2 (см. расчетную схему рис. 5). Внешний делительный диаметр d_{e2} рассчитан в п. 4.2.

Вертикальная плоскость Axy. Действующие нагрузки: F_{r2} и F_{a2}.

Определим реакции в опорах:

$$\Sigma M_A = F_{a2} \cdot \frac{d_2}{2} - F_{r2} l_1 - R_{BY} \cdot (l_1 + l_2) = 0;$$

$$R_{BY} = \frac{\frac{F_a \cdot d_2}{2} - F_{r2} \cdot l_1}{(l_1 + l_2)}, \quad \text{Н}$$

$$\Sigma M_B = F_{a2} \cdot \frac{d_2}{2} + F_{r2} l_2 - R_{AY} \cdot (l_1 + l_2) = 0$$

$$R_{AY} = \frac{\frac{F_a \cdot d_2}{2} + F_{r2} \cdot l_2}{(l_1 + l_2)}, \quad \text{Н}$$

Проверка: $\sum F_Y = R_{AY} - F_{r2} - R_{BY} = 0$

Рассчитываем изгибающие моменты M_Z и строим эпюру:

В сечении X_1 : $0 \le x_1 \le l_1$

$M_{Z1} = R_{AY} \cdot x_1$

$x_1 = 0 \Rightarrow M_{Z1} = 0$

$x_1 = l_1 \Rightarrow M_{Z1} = R_{AY} \cdot l_1$, Н·мм.

В сечении X_2 : $0 \le x_2 \le l_2$

$M_{Z2} = -R_{BY} \cdot x_2$

$x_2 = 0 \Rightarrow M_y = 0$

$x_2 = l_2 \Rightarrow M_{Z2} = -R_{BY} \cdot l_2$, Н·мм.

Если реакция R_{BY} получилась отрицательной, то при $x_2 = l_2$ $M_{Z2} = R_{BY} \cdot l_2 > 0$ и соответствующая эпюра изгибающего момента изображена пунктирной линией.

Горизонтальная плоскость Axz. Действует сила F_{t2}.

Определим реакции в опорах:

$$\Sigma M_A = -F_{t2} \cdot l_1 + R_{BZ}(l_1 + l_2) = 0$$

$$\Sigma M_B = F_{t2} \cdot l_2 - R_{AZ}(l_1 + l_2) = 0$$

$$R_{AZ} = \frac{F_{t2} \cdot l_2}{(l_1 + l_2)}, \quad \text{Н}; \qquad R_{BZ} = \frac{F_{t2} \cdot l_1}{(l_1 + l_2)}, \quad \text{Н}$$

Проверка: $\sum F_Z = F_{t2} - R_{AZ} - R_{BZ} = 0$

Изгибающие моменты для построения эпюр:

В сечении X_1 : $0 \le x_1 \le l_1$

$M_{Y1} = -R_{AZ} \cdot x_1$

$x_1 = 0 \Rightarrow M_{Y1} = 0$

$x_1 = l_1 \Rightarrow M_{Y1} = -R_{AZ} \cdot l_1$, Н·мм

В сечении X_2 : $0 \le x_2 \le l_2$

$$M_{Y2} = -R_{BZ} \cdot x_2$$

$x_2 = 0 \Rightarrow M_Y = 0$

$x_2 = l_2 \Rightarrow M_{Y2} = -R_{BZ} \cdot l_2$, Н·мм

Суммарный изгибающий момент равен:

$$M_{u1} = \sqrt{(M_{Y1})^2 + (M_{Z1})^2}, \quad \text{Н·мм}$$

$$M_{u2} = \sqrt{(M_{Y2})^2 + (M_{Z2})^2}, \quad \text{Н·мм}$$

Плоскость Ayz. Действует момент $T_{вых}$, Н·мм.

Крутящий момент $M_x = T_{вых}$, Н·мм.

Анализ эпюр показывает, что наиболее опасным, с точки зрения усталостной прочности, является сечение вала под зубчатым колесом, в котором действует наибольший изгибающий момент M_u и крутящий момент M_x.

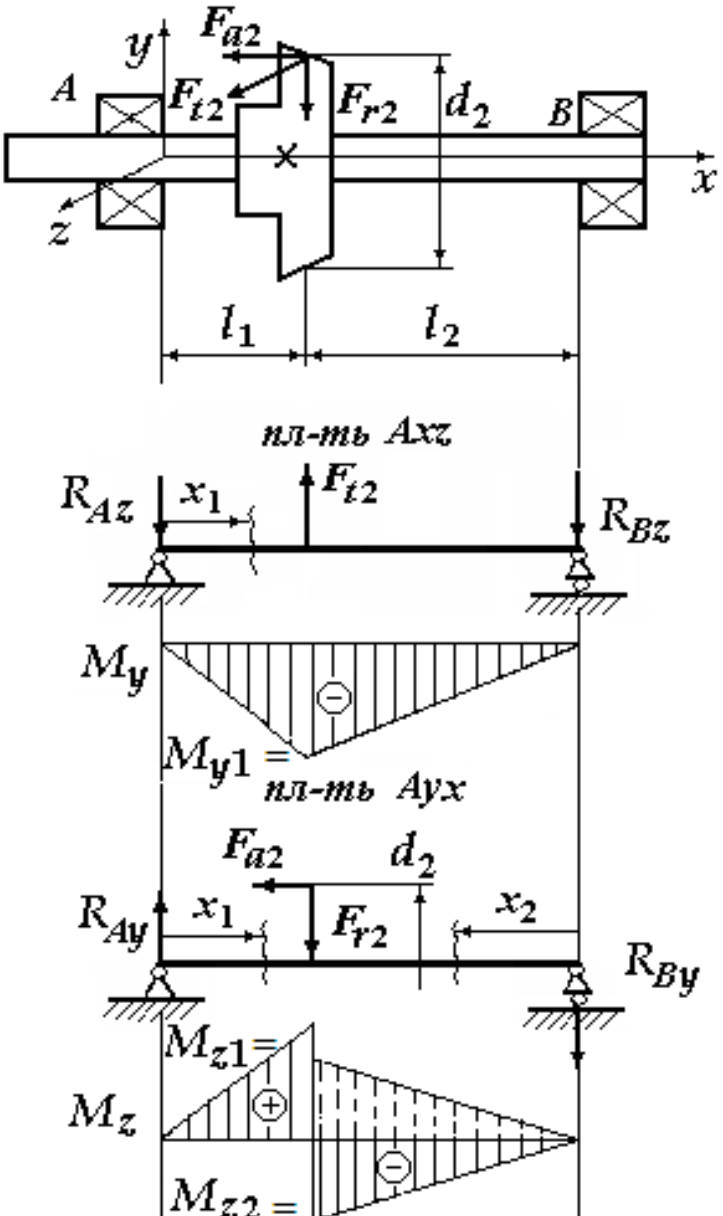


Рис. 5

8.2. Расчет коэффициента запаса усталостной прочности

Вал изготавливаем из стали 40 (ГОСТ 1054-74) с пределом прочности $\sigma_в$ = 620 МПа и пределами выносливости на изгиб σ_{-1} и кручение τ_{-1}:

$$\sigma_{-1} = 0{,}43 \cdot \sigma_в = 0{,}43 \cdot 620 = 267 \text{ МПа}$$

$$\tau_{-1} = 0{,}58 \cdot \sigma_{-1} = 0{,}58 \cdot 267 = 155 \text{ МПа}$$

Коэффициенты концентрации напряжений:

$$k_\sigma = 0{,}9 + 0{,}0014 \cdot \sigma_в$$

$$k_\tau = 0{,}6 + 0{,}0016 \cdot \sigma_в$$

Коэффициенты, учитывающие масштабные факторы:

$$\varepsilon_\sigma = 0{,}984 - 0{,}0032 \cdot d_{к2}$$

$$\varepsilon_\tau = 0{,}86 - 0{,}003 \cdot d_{к2}$$

Коэффициент шероховатости: $\beta = 0{,}92$

Коэффициенты асимметрии цикла: $\psi_\sigma = 0{,}2$; $\psi_\tau = 0{,}1$

Осевой W и полярный W_p моменты сопротивления:

$$W = 0{,}1 \cdot d_{к2}^3 - \frac{b \cdot t_1 \cdot (d_{к2} - t_1)^2}{2 \cdot d_{к2}}, \text{ мм}^3$$

$$W_p = 0{,}2 \cdot d_{к2}^3 - \frac{b \cdot t_1 \cdot (d_{к2} - t_1)^2}{2 \cdot d_{к2}}, \text{ мм}^3$$

где b, t_1 – ширина и глубина шпоночного паза на валу (см. раздел 7).

Напряжения в опасном сечении:

$$\sigma_a = \frac{M_{u\max}}{W}, \text{ МПа}; \qquad \sigma_m = 0;$$

$$\tau_a = \tau_m = \frac{T_{вых} \cdot 10^3}{2 \cdot W_p}, \text{ МПа}$$

Коэффициент запаса прочности по нормальным напряжениям изгиба:

$$n_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\frac{k_\sigma}{\varepsilon_\sigma \cdot \beta} \cdot \sigma_a + \psi_\sigma \cdot \sigma_m}.$$

Коэффициент запаса прочности по касательным напряжениям кручения:

$$n_\tau = \frac{\tau_{-1}}{\frac{k_\tau}{\varepsilon_\tau \cdot \beta} \cdot \tau_a + \psi_\tau \cdot \tau_m}.$$

Общий коэффициент запаса усталостной прочности:

$$n = \frac{n_\sigma \cdot n_\tau}{\sqrt{n_\sigma^2 + n_\tau^2}}$$

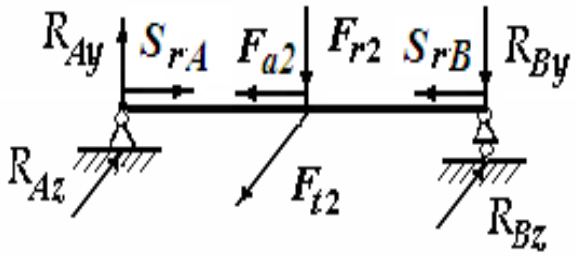
Проверка условия прочности $n \geq [n] = 1{,}7$.

9. Проверочный расчет подшипников выходного вала

Подшипники обеспечивают плавность вращения и фиксированное положение (в радиальном и осевом направлениях) вращающихся деталей в механизме. В редукторе наиболее нагруженные подшипники рассчитывают на долговечность. Они считаются выбранными правильно, если обеспечивается условие $L \geq t_\Sigma$,

где L - долговечность подшипника в часах, t_Σ - суммарное время работы передачи

Рассчитаем нагрузку на подшипник.



Реакции опор (см. раздел 8.1):

R_{Az} = Н

R_{Ay} = Н

R_{Bz} = Н

R_{By} = Н

Осевая сила F_{a2} = Н

Динамическая грузоподъемность подшипников (см. раздел 5):

C_r = Н

Полные реакции опор

$$R_A = \sqrt{R_{AZ}^2 + R_{Ay}^2}\text{, Н}$$

$$R_B = \sqrt{R_{BZ}^2 + R_{By}^2}\text{, Н}$$

Параметр осевого нагружения:

$$e = 1{,}5 \cdot tg15^\circ = 0{,}402$$

Осевые составляющие реакций опор

$$S_{rB} = 0{,}83 \cdot e \cdot R_B\text{, Н}$$

$$S_{rA} = 0{,}83 \cdot e \cdot R_A\text{, Н}$$

Результирующие осевые нагрузки на опоры

Так как $S_{rB} - S_{rA} + F_{a2} > 0$, то

$$S_B = S_{rB} \quad \text{Н};$$

$$S_A = S_{rB} + F_{a2} \quad \text{Н}.$$

Коэффициенты радиальной X и осевой Y нагрузок

$$\frac{S_B}{R_B} < e \text{ и } X_1 = 1; \quad Y_1 = 0$$

$$\frac{S_A}{R_A} > e \text{ и } X_2 = 0{,}4; \quad Y_2 = 0{,}4 \cdot ctg15^\circ = 1{,}49$$

Приведенная радиальная нагрузка на каждой опоре

$$F_B = \left(X_1 \cdot V \cdot R_{rB} + Y_1 \cdot S_B\right) \cdot K_б \cdot K_m, \text{ Н}$$

$$F_A = \left(X_2 \cdot V \cdot R_A + Y_2 \cdot S_A\right) \cdot K_б \cdot K_m, \text{ Н}$$

где V = 1 – коэффициент вращения;

$K_б$ = 1,4 – коэффициент безопасности;

K_m = 1 – температурный коэффициент.

Долговечность наиболее нагруженного подшипника

$$L_h = \frac{10^6}{60 \cdot n_{вых}} \cdot \left(\frac{C_r}{F}\right)^{3{,}33}, \text{ час}$$

где F – большее из значений F_A и F_B

Проверка условия долговечности подшипников

$$L_h \geq t_\Sigma,$$

10. Подбор соединительной муфты

Для соединения электродвигателя и редуктора преимущественно используют компенсирующие муфты. Они снижают ударные нагрузки и компенсируют небольшие погрешности установки осей соединяемых валов.

Выбираем муфту втулочно-пальцевую МУВП ГОСТ 21424-93 по диаметру соединяемых валов $d_{дв}$ и проверяем её на передаваемый момент $T_р$:

$$T_р = K_н \cdot T_1 \leq [T], \text{ Н·м}$$

где $K_н$ = 1,5 – коэффициент режима работы; T_1 – момент на входном валу (см. раздел 2);

[T] – момент, передаваемый стандартной муфтой (см. таблицу 5)

Таблица 5

$d_{в1}$, мм	20…22	25…28	32…36
[T], Н·м	63	125	250

11.Подбор смазки и уплотнений валов

Зубчатые передачи смазывают минеральными маслами, которые заливают в корпус редуктора так, чтобы зубья колес были утоплены в масляной ванне. Смазка снижает трение в зацеплении и уменьшает износ рабочих поверхностей зубьев. Важнейшей характеристикой смазочных масел является кинематическая вязкость. Она

выбирается в зависимости от окружной скорости зубчатых колес и от контактных напряжений в зацеплении.

Окружную скорость в зубчатых передачах находят по зависимости:

$$V = \frac{\pi n_1 \cdot d_1}{6 \cdot 10^4}, \quad \text{м/с}$$

где n_1, d_1 - частота вращения (об/мин) и делительный диаметр шестерни (мм).

При контактных напряжениях $\sigma_H \leq 600$ МПа, вязкость масла выбирается по таблице 6, а сорт масла - по таблице 7.

Таблица 6

Окружная скорость $v_{окр}$, м/с	< 2	2 ÷ 5	> 5
Кинематическая вязкость ν, мм^2/с	34	28	22

Таблица 7

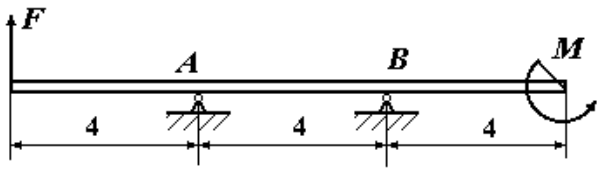
Кинематическая вязкость ν, мм^2/с	17 ÷ 23	24 ÷ 27	28 ÷ 33	35 ÷ 45
Сорт масла	Индустриальное			
Марка масла	И-20А	И-25А	И-30А	И-40А

Для уплотнений валов выбираем резиновые манжеты по ГОСТ 8752-79.

Задачи для контрольных рабо

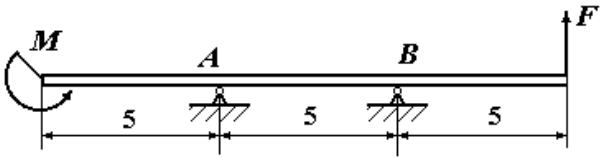
Вариант 1

Дано: $F = 40$ кН; $M = 120$ кН·м
Найти реакции опор



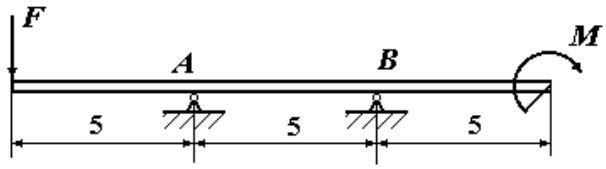
Вариант 2

Дано: $F = 40$ кН; $M = 50$ кН·м
Найти реакции опор



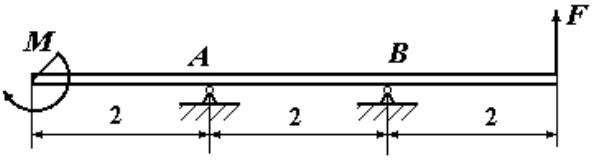
Вариант 3

Дано: $F = 50$ кН; $M = 75$ кН·м
Найти реакции опор



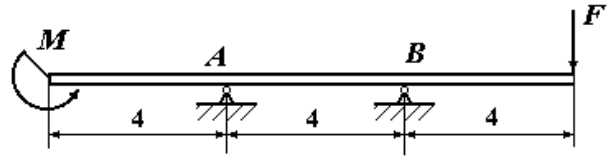
Вариант 4

Дано: $F = 20$ кН; $M = 60$ кН·м
Найти реакции опор



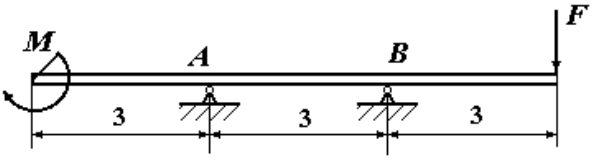
Вариант 5

Дано: $F = 40$ кН; $M = 100$ кН·м
Найти реакции опор



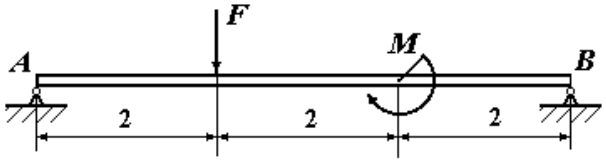
Вариант 6

Дано: $F = 30$ кН; $M = 60$ кН·м
Найти реакции опор



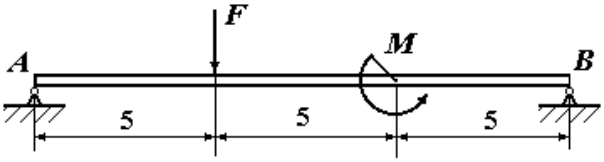
Вариант 7

Дано: $F = 60$ кН; $M = 36$ кН·м
Найти реакции опор



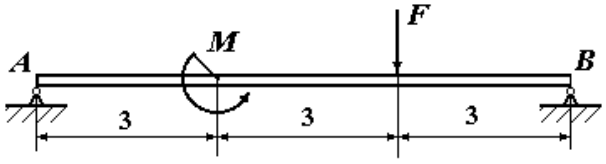
Вариант 8

Дано: $F = 60$ кН; $M = 45$ кН·м
Найти реакции опор



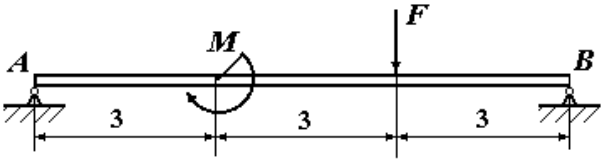
Вариант 9

Дано: $F = 90$ кН; $M = 180$ кН·м
Найти реакции опор



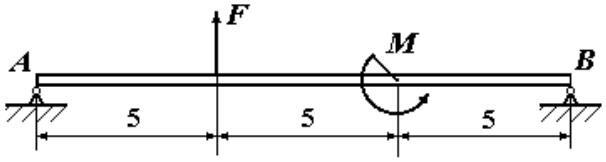
Вариант 10

Дано: $F = 27$ кН; $M = 90$ кН·м
Найти реакции опор



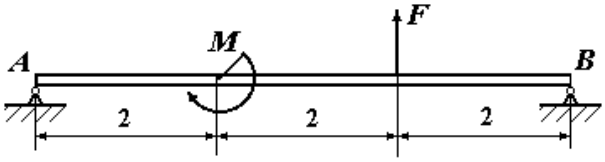
Вариант 11

Дано: $F = 60$ кН; $M = 30$ кН·м
Найти реакции опор



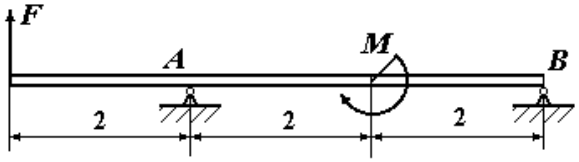
Вариант 12

Дано: $F = 30$ кН; $M = 60$ кН·м
Найти реакции опор



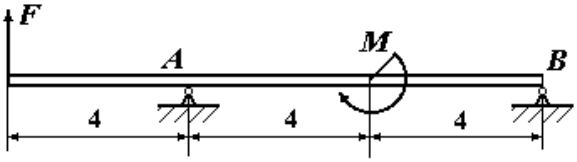
Вариант 13

Дано: $F = 20$ кН; $M = 40$ кН·м
Найти реакции опор



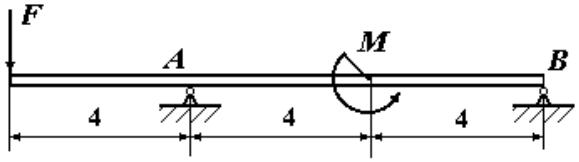
Вариант 14

Дано: $F = 80$ кН; $M = 40$ кН·м
Найти реакции опор



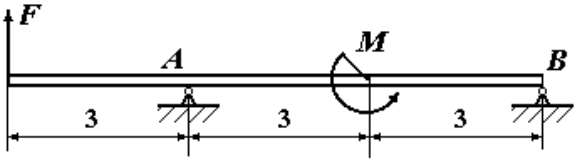
Вариант 15

Дано: $F = 8$ кН; $M = 16$ кН·м
Найти реакции опор



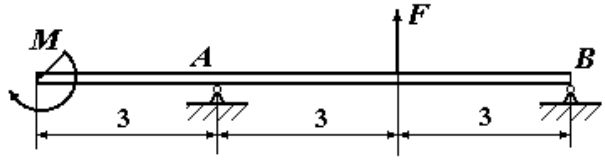
Вариант 16

Дано: $F = 18$ кН; $M = 30$ кН·м
Найти реакции опор



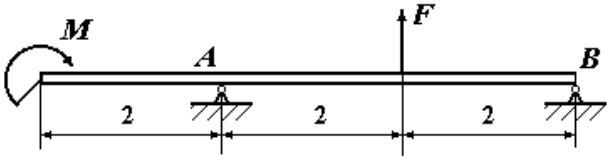
Вариант 17

Дано: $F = 30$ кН; $M = 60$ кН·м
Найти реакции опор



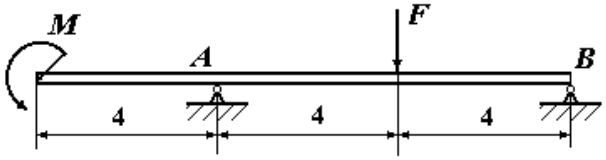
Вариант 18

Дано: $F = 20$ кН; $M = 40$ кН·м
Найти реакции опор



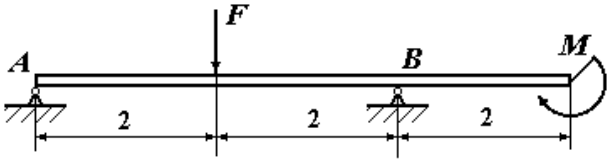
Вариант 19

Дано: $F = 8$ кН; $M = 16$ кН·м
Найти реакции опор



Вариант 20

Дано: $F = 30$ кН; $M = 20$ кН·м
Найти реакции опор

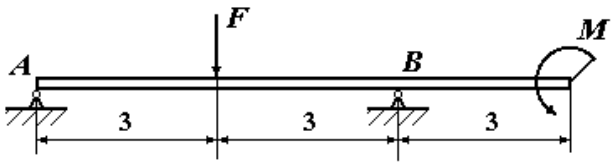


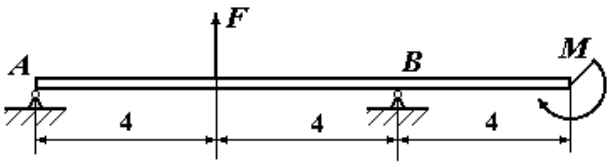
Вариант 21

Дано: $F = 60$ кН; $M = 30$ кН·м
Найти реакции опор

Вариант 22

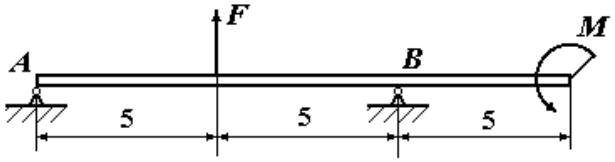
Дано: $F = 8$ кН; $M = 48$ кН·м
Найти реакции опор





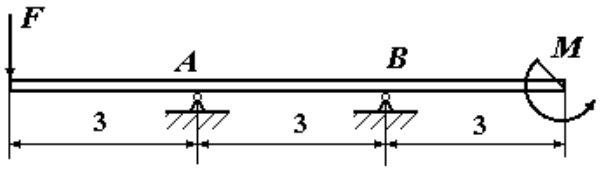
Вариант 23

Дано: $F = 50$ кН; $M = 50$ кН·м
Найти реакции опор



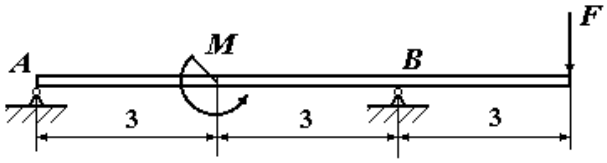
Вариант 24

Дано: $F = 30$ кН; $M = 90$ кН·м
Найти реакции опор



Вариант 25

Дано: $F = 20$ кН; $M = 240$ кН·м
Найти реакции опор



Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

1-й этап процедуры оценивания: оценивание уровня достижения каждого из запланированных результатов обучения – дескрипторов (знаний, умений, владений) в соответствии со шкалами и критериями, установленными картами компетенций ОПОП (Приложение 1 ОПОП).

Экспертной оценке преподавателя подлежит сформированность отдельных дескрипторов, для оценивания которых предназначена данная оценочная процедура текущего контроля и промежуточной аттестации согласно матрице соответствия оценочных средств результатам обучения (таблица 2).

2-й этап процедуры оценивания: интегральная оценка достижения обучающимся запланированных результатов обучения по итогам отдельных видов текущего контроля и промежуточной аттестации.

Шкала и процедура оценивания сформированности компетенций

На этапе промежуточной аттестации используется система оценки успеваемости обучающихся, которая позволяет преподавателю оценить уровень освоения материала обучающимися. Критерии оценивания сформированности планируемых результатов обучения (дескрипторов) представлены в карте компетенции ОПОП.

Форма оценки знаний: оценка - 5 «отлично»; 4 «хорошо»; 3 «удовлетворительно»; 2 «неудовлетворительно». Лабораторные работы, практические занятия, практика оцениваются: «зачет», «незачет». Возможно использование балльно-рейтинговой оценки.

Шкала оценивания:

«Зачет» – выставляется, если сформированность заявленных дескрипторов компетенций на 50% и более оценивается не ниже «удовлетворительно» при условии отсутствия критерия «неудовлетворительно». Выставляется, когда обучающийся показывает хорошие знания изученного учебного материала; самостоятельно, логично и последовательно излагает и интерпретирует материалы учебного курса; полностью раскрывает смысл предлагаемого вопроса; владеет основными терминами и понятиями изученного курса; показывает умение переложить теоретические знания на предполагаемый практический опыт.

«Незачет» – выставляется, если сформированность заявленных дескрипторов компетенций менее чем 50% (в соответствии с картами компетенций ОПОП) оценивается критериями «удовлетворительно», «хорошо» и «отлично»: при ответе обучающегося выявились существенные пробелы в знаниях основных положений фактического материала, неумение с помощью преподавателя получить правильное решение конкретной практической задачи из числа предусмотренных рабочей программой учебной дисциплины.

«Отлично» – выставляется, если сформированность заявленных дескрипторов компетенций более 85% (в соответствии с картами компетенций ОПОП) оценивается критериями «хорошо» и «отлично», при условии отсутствия оценки «неудовлетворительно»: студент показал прочные знания основных положений фактического материала, умение самостоятельно решать конкретные практические задачи повышенной сложности, свободно использовать справочную литературу, делать обоснованные выводы из результатов анализа конкретных ситуаций;

«Хорошо» – выставляется, если сформированность заявленных дескрипторов компетенций на 60% и более (в соответствии с картами компетенций ОПОП) оценивается критериями «хорошо» и «отлично», при условии отсутствия оценки «неудовлетворительно», допускается оценка «удовлетворительно»: обучающийся показал прочные знания основных положений фактического материала, умение самостоятельно решать конкретные практические задачи, предусмотренные рабочей программой, ориентироваться в рекомендованной справочной литературе, умеет правильно оценить полученные результаты анализа конкретных ситуаций;

«Удовлетворительно» – выставляется, если сформированность заявленных дескрипторов компетенций 50% и более (в соответствии с картами компетенций ОПОП) оценивается критериями «удовлетворительно», «хорошо» и «отлично»: обучающийся показал знание основных положений фактического материала, умение получить с помощью преподавателя правильное решение конкретной практической задачи из числа предусмотренных рабочей программой, знакомство с рекомендованной справочной литературой;

«Неудовлетворительно» – выставляется, если сформированность заявленных дескрипторов компетенций менее чем 50% (в соответствии с картами компетенций ОПОП) оценивается критериями «удовлетворительно», «хорошо» и «отлично»: при ответе обучающегося выявились существенные пробелы в знаниях основных положений фактического материала, неумение с помощью преподавателя получить правильное решение конкретной практической задачи из числа предусмотренных рабочей программой учебной дисциплины.

Ответы и решения обучающихся оцениваются по следующим общим критериям: распознавание проблем; определение значимой информации; анализ проблем; аргументированность; использование стратегий; творческий подход; выводы; общая грамотность.

Соответствие критериев оценивания сформированности планируемых результатов обучения (дескрипторов) системам оценок представлено в таблице:

Интегральная оценка

Критерии	Традиционная оценка	Балльно-рейтинговая оценка
5	5	86 - 100
4	4	61-85
3	3	51-60
2 и 1	2, Незачет	0-50
5, 4, 3	Зачет	51-100