Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Н. А. Середа

ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины с заданиями
к практическим занятиям для студентов бакалавриата по направлению
подготовки 19.03.03 Продукты питания животного происхождения

Калининград
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»
2022

УДК 621.86 (076)

Рецензент
доктор технических наук, профессор кафедры теории механизмов и машин и деталей машин ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»
С. В. Федоров

Середа, Н. А.
Техническая механика: учебно-методическое пособие по изучению дисциплины для студентов, обучающихся в бакалавриате по направлению подготовки 19.03.03 Продукты питания животного происхождения / Н. А. Середа. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2022. – 62 с.

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины «Техническая механика» содержит тематический план лекционных, практических и лабораторных занятий по направлению подготовки 19.03.03 Продукты питания животного происхождения. Сформулированы вопросы и задания для самоконтроля при выполнении практических и лабораторных работ, даны ссылки на рекомендуемую литературу с указанием страниц.
Табл. 7, рис. 15, список лит. – 8 наименований

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины «Техническая механика» с заданиями к практическим занятиям рекомендовано к изданию в качестве локального электронного методического материала для использования в учебном процессе методической комиссией Института морских технологий, энергетики и строительства 30 сентября 2022 г., протокол № 1

УДК 621.86 (076)

© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Калининградский государственный технический университет», 2022 г.
© Середа Н. А., 2022 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 4
1 ЛЕКЦИОННЫЕ ЗАНЯТИЯ 6
1.1 Тематический план лекционных занятий 6
1.2 Рекомендации по изучению тем лекционных занятий 7
1.3 Самостоятельная работа студентов после лекционных занятий 22
2 ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ 23
2.1 Тематический план практических занятий 23
2.2 Задания к практическим занятиям 24
2.3 Рекомендации по выполнению самостоятельной работы студентов при выполнении практических заданий 55
3 ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ 56
3.1 Тематический план лабораторных занятий 56
3.2 Рекомендации по выполнению самостоятельной работы студентов при подготовке к защите лабораторных работ 56

ВВЕДЕНИЕ

Настоящее учебно-методическое пособие предназначено для изучения дисциплины «Техническая механика». Эта дисциплина включена в основную профессиональную образовательную программу бакалавриата по направлению подготовки 19.03.03 Продукты питания животного происхождения.

Техническая механика – дисциплина, формирующая у обучающихся готовность к применению методик расчета элементов технологических машин. *Целью освоения дисциплины* является формирование у студентов знаний, умений и навыков, необходимых для производственно-технологической и проектной деятельности, приобретения навыков работы с нормативными и техническими документами, анализа структуры технологических машин, изучение методов механического и математического моделирования в технике, современных методов расчета элементов машин и конструкций. Задачи изучения дисциплины: 1) освоение общих принципов построения технических систем; 2) формирование навыков в построении расчетных моделей элементов машин и механизмов; 3) изучение основ построения инженерных расчетов применительно к механизмам и машинам, элементам конструкций.

В результате освоения дисциплины студент должен

знать:

– понятия о технологической машине; основы структурного, геометрического, кинематического и динамического анализа механизмов (машин); основы расчетов узлов, деталей механизмов и машин на прочность;

уметь:

– проектировать узлы, детали механизмов и машин в соответствии с требованиями технического задания и нормативных документов; обосновывать выбор критериев работоспособности применительно к конкретной конструкции;

владеть:

– навыками поиска и анализа информации о современном состоянии методов проектирования – расчета и конструирования механизмов и машин, используемых в технологических процессах пищевой биотехнологии;

– способностью самостоятельно использовать в практической деятельности приобретаемые знания и умения.

Дисциплина «Техническая механика» опирается на компетенции, знания, умения и навыки студентов, сформированные при изучении таких дисциплин, как «Математика», «Информатика», «Физика», «Проекционное черчение и компьютерная графика».

Знания, умения и навыки, полученные при изучении технической механики, позволят успешно осваивать дисциплины профессиональной

направленности: «Технологическое оборудование рыбоперерабатывающих производств», «Технологическое оборудование мясной отрасли».

Изучение дисциплины предполагает контактную (лекционные, практические и лабораторные занятия) и самостоятельную учебную работу студента.

Форма аттестации по дисциплине «Техническая механика»: очная и заочная формы обучения, третий семестр – **зачет**; четвертый семестр – **экзамен**.

Промежуточная аттестация студентов в форме зачета проводится по результатам выполнения всех видов текущего контроля по темам дисциплины. К видам текущего контроля в третьем и четвертом семестрах относят: контрольные вопросы по практическим и лабораторным занятиям, тестовые задания по темам дисциплины. Выполнение тестовых заданий осуществляется в конце лекционного или практического занятия и служит закреплением изученного теоретического материала и контролем полученных навыков.

Критерии и нормы оценки текущего контроля по дисциплине применительно к каждому практическому занятию представлены в соответствующем учебно-методическом пособии.

Оценочными средствами для промежуточной аттестации в виде экзамена по дисциплине являются контрольные вопросы по темам дисциплины. Критерии и нормы оценки промежуточной аттестации в виде экзамена даны в Приложении А.

Успешное изучение дисциплины «Техническая механика» сопряжено со следующими аспектами: следует посетить не менее 90 % лекционных, практических и лабораторных занятий; необходимо своевременно осуществлять подготовку к лекционным, практическим и лабораторным занятиям; следовать методическим указаниям по выполнению самостоятельной работы для каждого вида занятий.

Рекомендации по выполнению контрольных работ, предусмотренных учебным планом у студентов заочной формы обучения, даны в соответствующем учебно-методическом пособии.

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины «Техническая механика» содержит три раздела и приложения. В первый раздел включена информация о лекционных занятиях. Во втором разделе пособия сконцентрированы темы, задания и этапы выполнения работ на практических занятиях. В третьем разделе сформирован тематический план лабораторных занятий

1 ЛЕКЦИОННЫЕ ЗАНЯТИЯ

1.1 Тематический план лекционных занятий

Сформирован тематический план лекционных занятий в третьем (осеннем) семестре (таблица 1).

Таблица 1 – План лекционных занятий в третьем семестре

Номер темы	Тема лекционного занятия
Тема 1	Технологическая машина, ее кинематическая схема и описание
Тема 2	Примеры кинематических схем исполнительных механизмов технологических машин
Тема 3	Структурный анализ механизмов и машин
Тема 4	Основы статики
Тема 5	Силовой анализ рычажных механизмов
Тема 6	Силы в механизмах с высшей кинематической парой
Тема 7	Основы сопротивления материалов. Растяжение и сжатие
Тема 8	Изгиб и кручение
Тема 9	Случаи нагружения балки при изгибе. Срез и смятие
Тема 10	Параметрический анализ рычажных механизмов
Тема 11	Кинематика. Скорости и ускорения точек механизма
Тема 12	Кинематический анализ механизмов и машин

Сформирован тематический план лекционных занятий в четвертом (весеннем) семестре. В таблице 2 даны названия тем занятий по дисциплине «Техническая механика».

Таблица 2 – План лекционных занятий в четвертом семестре

Номер темы	Тема лекционного занятия
Тема 13	Кинематический анализ механизмов и машин (продолжение)
Тема 14	Основы динамики
Тема 15	Динамические модели механизмов
Тема 16	Цилиндрические зубчатые передачи
Тема 17	Конические зубчатые передачи
Тема 18	Червячные передачи
Тема 19	Валы и оси
Тема 20	Подшипники скольжения и качения
Тема 21	Муфты приводов
Тема 22	Ременные передачи
Тема 23	Цепные передачи
Тема 24	Механизмы с неподвижными и подвижными осями вращения зубчатых колес
Тема 25	Планетарные механизмы
Тема 26	Соединения деталей машин
Тема 27	Сведения о стандартизации и взаимозаменяемости деталей машин

1.2 Рекомендации по изучению тем лекционных занятий

Темы и планы лекционных занятий по дисциплине «Техническая механика», проводимых в третьем (осеннем) семестре, представлены ниже.

Тема 1. Технологическая машина, ее кинематическая схема и описание

План занятия

Состав двигательной и рабочей частей технологической машины. Кинематические схемы приводов машин для изготовления пищевых продуктов.

Схемы приводов мясорубок. Схема привода машины для перемешивания пищевых продуктов. Схема привода машины для сортировки свежей салаки и кильки.

Изучение условных графических изображений схем передач, механизмов и приводов (ГОСТ. 2.770).

Литература: [1, с. 12–14], [4, с. 5–19].

Рекомендации по изучению темы

Студенту следует ознакомиться с составом двигательной и рабочей частей технологической машины; запомнить кинематические схемы приводов машин, применяемых при производстве пищевых продуктов. Необходимо научиться грамотному вербальному описанию приводов технологических машин. Важным аспектом в этом случае является визуализация работы машины, поэтому изучать первую тему следует с применением работающих конструкций, а также видеоматериалов.

Вопросы и задания для закрепления изученного материала

1. Назовите состав двигательной части технологической машины.
2. Перечислите состав рабочей части технологической машины.
3. Зарисуйте кинематическую схему привода машины с одноступенчатым цилиндрическим редуктором.
4. Изобразите кинематическую схему привода машины с двухступенчатым цилиндрическим редуктором.
5. Как выглядит схема привода машины с одноступенчатым коническим редуктором?
6. Зарисуйте кинематическую схему привода машины с одноступенчатым червячным редуктором.
7. На каких валах размещаются ременная и цепная передачи в многоступенчатом приводе машины?

Тема 2. Примеры кинематических схем исполнительных механизмов технологических машин

План занятия

Схема привода машины для перемещения штучных изделий. Передаточный и исполнительный механизм технологической машины.

Кинематические схемы передаточных и исполнительных механизмов (рычажные механизмы и механизмы с высшей кинематической парой). Описание кинематических схем, их грамотное изображение и чтение.

Траектории точек звеньев механизма и их математическое описание. Виды движения звеньев механизма.

Литература: [1, с. 12–14], [4, с. 5–19].

Рекомендации по изучению темы

Студенту следует ознакомиться с составом передаточного и исполнительного механизмов технологической машины; запомнить названия подвижных и неподвижного звеньев, обозначения кинематических пар. Необходимо научиться грамотному вербальному описанию передаточных и исполнительных механизмов машин. Важным аспектом в этом случае является визуализация работы механизма, поэтому изучать вторую тему следует с применением работающих макетов, а также видеоматериалов.

Вопросы и задания для закрепления изученного материала

1. Назовите звено, совершающее вращательное движение в механизме.

2. Изобразите кривошипно-коромысловый механизм тестомесильной машины. Какое звено названного механизма связано с рабочим органом?

3. Зарисуйте кинематическую схему кривошипно-ползунного механизма машины для перемещения изделий.

4. Изобразите кинематическую схему цилиндрического зубчатого механизма, попробуйте вербально описать его состав и принцип работы.

5. Назовите звено, совершающее поступательное движение в механизме

6. Перечислите звенья, выполняющие качательное движение в механизме.

7. Какие звенья в механизмах совершают сложное движение? Приведите примеры этих механизмов.

Тема 3. Структурный анализ механизмов и машин

План занятия

Кинематические пары и их виды (для плоских механизмов).

Структурная формула П. Л. Чебышева. Структурная группа Л. В. Ассура. Структурная группа М. З. Коловского.

Структурный граф механизма и его описание.

Литература: [1, с. 5–17], [4, с. 5–19], [7, с. 33–37], [8].

Рекомендации по изучению темы

Обучающемуся следует запомнить названия кинематических пар, их классификацию, этапы структурного анализа механизмов. Необходимо уяснить разницу между структурными группами Л. В. Ассура и М. З. Коловского. Научиться выполнять структурный анализ механизмов, входящих в состав технологических машин пищевых производств.

Вопросы и задания для закрепления изученного материала

1. Назовите подвижные звенья плоских механизмов.

2. Приведите пример неподвижного звена плоского механизма. Как это звено изображают на кинематической схеме?

3. Запишите структурную формулу П. Л. Чебышева. Какие параметры в нее входят?

4. Изобразите известную Вам структурную группу Л. В. Ассура.

5. Назовите этапы структурного анализа механизма.

6. Что такое структурный граф механизма? Изобразите структурный граф четырехзвенного механизма с низшими кинематическими парами.

7. Нарисуйте известную Вам структурную группу М. З. Коловского.

Тема 4. Основы статики

План занятия

Аксиомы статики. Условия равновесия плоской системы сходящихся сил. Связи и их реакции. Определение реакций связей в конструкции. Пара сил, момент пары сил и момент силы относительно точки.

Литература: [1, с. 46–62], [6, с. 10].

Рекомендации по изучению темы

Студенту следует запомнить формулировки аксиом статики. Необходимо понять действия, осуществляемые над силами с применением упомянутых аксиом. Следует запомнить виды опор и последовательность действий при определении реакций связей в конструкции.

Вопросы и задания для закрепления изученного материала

1. Сформулируйте аксиому о равновесии системы двух сил.

2. Зарисуйте графическое изображение и аналитическое соотношение, иллюстрирующее аксиому параллелограмма сил.

3. Сформулируйте аксиому о равенстве сил действия и противодействия.

4. Запишите аксиому связей.

5. Что такое пара сил?

6. Чем момент пары сил отличается от момента силы относительно точки?

7. Перечислите известные Вам связи и их реакции.

Тема 5. Силовой анализ рычажных механизмов

План занятия

Схемы приложения сил в рычажных и кулачковых механизмах.

Анализ силовой работоспособности рычажного механизма (угол передачи движения и угол давления).

Силовой анализ механизма методом кинетостатики.

Литература: [1, с. 46–62], [4, с. 53–65].

Рекомендации по изучению темы

Обучающимся следует запомнить схему приложения сил применительно к четырехзвенным рычажным и кулачковым механизмам. Понять действия,

осуществляемые над силами с применением аксиом статики. Следует запомнить этапы силового анализа механизма методом кинетостатики.

Вопросы и задания для закрепления изученного материала

1. Зарисуйте схему приложения сил в четырехзвенном механизме с низшими кинематическими парами.

2. Изобразите схему приложения сил в кулачковом механизме с поступательно движущимся толкателем.

3. К какому звену механизма прикладывают силу полезного сопротивления?

4. Какие аксиомы статики применяются при кинетостатическом анализе четырехзвенного механизма с низшими кинематическими парами?

5. Что такое угол передачи движения? Как его определить?

6. Что такое угол давления? Как определить этот угол на схеме кулачкового механизма?

7. Перечислите критерии работоспособности механизма технологической машины.

Тема 6. Силы в механизмах с высшей кинематической парой

План занятия

Силы, действующие в цилиндрическом и коническом зубчатом механизме. Силы в червячной передаче.

Схемы приложения сил в механизмах с высшей кинематической парой (угол давления).

Силовой расчет редуктора при заданных кинематических параметрах.

Литература: [1, с. 46–62], [4, с. 53–65].

Рекомендации по изучению темы

Студенту следует запомнить схему приложения сил применительно к зубчатым цилиндрическим и коническим механизмам, червячным передачам. Необходимо понять действия, осуществляемые над силами с применением аксиом статики. Следует запомнить последовательность действий при силовом расчете редуктора в случае, если кинематические параметры известны.

Вопросы и задания для закрепления изученного материала

1. Как определить направления сил в цилиндрическом зубчатом механизме?

2. Сформулируйте последовательность действий при определении направления сил в конической зубчатой передаче.

3. Как установить направления сил в червячной зубчато-винтовой передаче?

4. Зарисуйте схему приложения сил в механизме с высшей кинематической парой. Обозначьте угол давления.

5. Запишите последовательность действий в процессе силового анализа редуктора при заданных кинематических параметрах.

Тема 7. Основы сопротивления материалов. Растяжение и сжатие

План занятия

Гипотезы и допущения сопромата. Схема приложения сил к стержню и построение эпюры внутреннего силового фактора при продольном растяжении, сжатии. Расчеты на прочность при растяжении, сжатии.

Литература: [1, с. 116–131], [3, с. 7; с. 11; с. 18–19; с. 20–27].

Рекомендации по изучению темы

Обучающимся следует запомнить гипотезы сопротивления материалов, понять разницу между внешними и внутренними силами. Необходимо уяснить схемы приложения сил к стержню, этапы построения эпюр при продольном растяжении, сжатии. Запомнить алгоритм расчета на прочность при растяжении, сжатии.

Вопросы и задания для закрепления изученного материала

1. Зарисуйте схему приложения сил при продольном растяжении, сжатии.
2. Как определить внутренние силы в поперечных сечениях конструкции?
3. Сформулируйте последовательность действий при построении эпюры продольных (осевых) сил.
4. Запишите этапы расчета на прочность при растяжении, сжатии.

Тема 8. Изгиб и кручение

План занятия

Изгиб и его виды. Поперечные силы и изгибающие моменты. Схема приложения сил к балке. Правило знаков при изгибе.

Балка с защемленным концом, нагруженная разными активными силовыми факторами.

Эпюры крутящих моментов. Расчеты на прочность при кручении.

Литература: [1, с. 116–131], [3, с. 20–89], [5, с. 119–121], [6, с. 94–100], [7, с. 42–48].

Рекомендации по изучению темы

Студентам необходимо запомнить схемы приложения сил к балкам, правило знаков при изгибе. Научиться строить эпюры внутренних силовых факторов при изгибе для балки с защемленным концом, нагруженной разными активными силовыми факторами: сосредоточенной силой, равномерно-распределенной нагрузкой, моментом пары сил. Запомнить алгоритм расчета на прочность при кручении.

Вопросы и задания для закрепления изученного материала

1. Зарисуйте схему приложения сил к балке.
2. Сформулируйте правило знаков при изгибе для поперечной силы.

3. Проиллюстрируйте правило знаков при изгибе для изгибающего момента.

4. Сформулируйте последовательность действий при построении эпюр поперечных сил и изгибающих моментов для балки с защемленным концом.

5. Запишите этапы расчета на прочность при кручении.

Тема 9. Случаи нагружения балки при изгибе. Срез и смятие

План занятия

Шарнирно-опертая балка, нагруженная разными силовыми факторами: сосредоточенной силой, равномерно-распределенной нагрузкой, моментом пары сил. Расчет на прочность при изгибе.

Детали (звенья) машин, работающие на срез и смятие. Расчет на срез и смятие.

Материалы деталей (звеньев) машин и их свойства.

Литература: [1, с. 149–159], [3, с. 71–89], [7, с. 77–94].

Рекомендации по изучению темы

Студентам необходимо научиться строить эпюры внутренних силовых факторов при изгибе для шарнирно-опертой балки, нагруженной разными активными силовыми факторами: сосредоточенной силой, равномерно-распределенной нагрузкой, моментом пары сил, а также сочетанием перечисленных факторов. Запомнить алгоритм расчета на прочность при изгибе и срезе (смятии). Студентам следует обратить внимание на марки материалов, из которых изготавливают детали (звенья) механизмов технологических машин, изучить их основные свойства.

Вопросы и задания для закрепления изученного материала

1. Сформулируйте последовательность действий при построении эпюр поперечных сил и изгибающих моментов для шарнирно-опертой балки.

2. Запишите этапы расчета на прочность при изгибе.

3. Перечислите детали (звенья) машин, работающие на срез и смятие.

4. Из какого материала изготавливают валы, шпонки, зубчатые колеса цилиндрические и конические?

Тема 10. Параметрический анализ рычажных механизмов

План занятия

Определение геометрических параметров механизмов: кривошипно-коромыслового, кривошипно-ползунного, кривошипно-кулисного.

Связь геометрии механизма с его кинематическими и силовыми параметрами.

Литература: [1, с. 17–19; 4, с. 33].

Рекомендации по изучению темы

Студенту следует запомнить формулы, применяемые для анализа геометрических параметров рычажных механизмов. Необходимо оценить

влияние геометрических параметров на кинематические и силовые факторы механизма. Уметь составлять аналитические соотношения для определения геометрических параметров применительно к характерным положениям рычажного механизма.

Вопросы и задания для закрепления изученного материала

1. Запишите формулу для определения максимального значения угла передачи движения в кривошипно-коромысловом механизме (применительно к ККМ-1).

2. Зарисуйте схему кривошипно-коромыслового механизма в положении минимума функции угла передачи движения. Запишите формулу для определения минимального значения угла передачи движения.

3. Как определить длину шатуна в кривошипно-ползунном механизме, находящемся в положении, при котором кривошип перпендикулярен стойке? Известно, что значение длины кривошипа $\boldsymbol{l_1} = 30$ мм и максимальное значение угла давления $\boldsymbol{\alpha} = 30°$.

4. Запишите формулу для определения рабочей длины кулисы механизма с качающейся кулисой, находящегося в крайнем правом положении.

5. Запишите формулу для определения рабочей длины кулисы механизма с вращающейся кулисой, находящегося в крайнем правом положении.

Тема 11. Кинематика. Скорости и ускорения точек механизма

План занятия

Скорость и ускорение точки тела.

Поступательное, вращательное, качательное и сложное движения звеньев в механизмах.

Кинематические графики и связь между ними.

Литература: [1, с. 17–46], [4, с. 31–49], [8].

Рекомендации по изучению темы

Студентам следует запомнить очевидные траектории движения точек звеньев механизмов; изучить названия звеньев, совершающих вращательное, поступательное, качательное и сложное движения. Научиться составлять кинематические графики на основе экспериментальных данных о скорости и ускорении точки механизма. Студентам необходимо уметь анализировать составленные кинематические графики.

Вопросы и задания для закрепления изученного материала

1. Назовите траектории движения точки, расположенной на кривошипе, шатуне, коромысле, ползуне.

2. Вспомните названия звеньев, совершающих вращательное, качательное, поступательное и сложное движения.

3. Какие графоаналитические методы кинематического анализа Вы знаете?

4. Что такое кинематические графики?

5. Существует ли связь между графиками скорости и ускорения точки механизма?

Тема 12. Кинематический анализ механизмов и машин

План занятия

Определение аналогов скорости и ускорения графоаналитическим методом.

Построение планов скоростей и ускорений, понятие о мгновенном центре скоростей и мгновенном центре ускорений.

Теорема о проекциях скоростей точек звена, совершающего плоскопараллельное движение.

Литература: [1, с. 17–46], [4, с. 31–49], [8].

Рекомендации по изучению темы

Студентам следует ознакомиться с графоаналитическими методами определения аналогов скоростей и ускорений звеньев. Научиться применять эти методы для кинематического анализа четырехзвенных механизмов.

Вопросы и задания для закрепления изученного материала

1. Что такое мгновенный центр скоростей?

2. Определите мгновенный центр скоростей для шатуна кривошипно-коромыслового механизма, находящегося в положении, при котором кривошип лежит на линии центров.

2. Определите мгновенный центр скоростей для шатуна кривошипно-ползунного механизма, находящегося в положении, при котором кривошип перпендикулярен стойке.

3. Дайте определение мгновенному центру ускорений.

4. Запишите аналитическое соотношение, соответствующее теореме о проекциях скоростей точек звена, совершающего плоскопараллельное движение.

В четвертом (весеннем) семестре по дисциплине «Техническая механика» также запланированы лекционные занятия. Темы и планы занятий, рекомендуемая литература, информация по изучению материала к занятиям и вопросы для его закрепления приведены ниже.

Тема 13. Кинематический анализ механизмов и машин (продолжение)

План занятия

Определение аналогов скорости и ускорения аналитическим методом.

Примеры вывода зависимостей для функции положения, первой и второй геометрических передаточных функций.

Кинематический расчет редуктора.

Литература: [1, с. 39–46], [8, с. 58–60].

Рекомендации по изучению темы

Студентам следует запомнить аналитические методы кинематического анализа механизма, научиться получать соотношения для функции положения применительно к четырехзвенным механизмам. Дифференцируя по углу поворота кривошипа соотношение для функции положения, следует уметь выводить выражения для первой, а затем для второй геометрических передаточных функций. Важным этапом кинематического анализа механизма является построение графических интерпретаций для выведенных функций, а также их грамотное вербальное (словесное) описание. Последнее формирует навык описания технического объекта, что способствует качественной подготовке к написанию контрольных, курсовых работ и проектов при последующем изучении дисциплин профессиональной направленности.

Вопросы и задания для закрепления изученного материала

1. Какие аналитические методы кинематического анализа Вы знаете?
2. Что называют функцией положения механизма? Запишите соотношение для функции положения кулисного механизма с кулисой, движущейся поступательно.
3. Как определить первую геометрическую передаточную функцию? Приведите соотношение для этой функции применительно к кулисному механизму с кулисой, движущейся поступательно.
4. Как определить вторую геометрическую передаточную функцию? Приведите соотношение для этой функции применительно к кулисному механизму с кулисой, движущейся поступательно.
5. Сформируйте этапы кинематического расчета редуктора.
6. Почему первая и вторая геометрические передаточные функции называются аналогами скорости и ускорения звена соответственно?

Тема 14. Основы динамики

План занятия

Понятие о силах инерции. Метод кинетостатики. Силы инерции. Моменты инерции некоторых однородных тел.

Работа силы на прямолинейном и криволинейном перемещении. Мощность. Потенциальная и кинетическая энергия. Закон изменения кинетической энергии.

Литература: [1, с. 46–76], [4, с. 49–79].

Рекомендации по изучению темы

Студентам следует запомнить названия сил, действующих на звенья механизма, получить навык в определении значений упомянутых сил. Важным этапом изучения является умение воспроизводить аналитические соотношения для моментов инерции ряда однородных тел. Необходимо запомнить формулы для определения работы силы, мощности, потенциальной и кинетической энергии, научиться решать задачи, применяя закон изменения кинетической энергии.

Вопросы и задания для закрепления изученного материала

1. Какие силы действуют на звенья механизма при его движении?

2. Запишите соотношение для момента инерции прямого тонкого стержня.

3. Запишите соотношение для момента инерции шара радиуса $\boldsymbol{R}$.

4. Запишите соотношение для момента инерции диска.

5. Что такое работы силы на прямолинейном и криволинейном перемещении?

6. Что такое мощность?

7. Сформулируйте закон изменения кинетической энергии.

Тема 15. Динамические модели механизмов

План занятия

Динамическая модель механизма. Виды динамических моделей.

Примеры построения динамических моделей рычажных механизмов.

Литература: [1, с. 46–76], [4, с. 49–79].

Рекомендации по изучению темы

Студентам следует изучить виды динамических моделей механизма, методику составления динамической модели применительно к механизму. В качестве примера акцентировать внимание на динамической модели привода, содержащего электродвигатель, муфту и цилиндрическую зубчатую передачу. Разобрать примеры построения динамических моделей рычажных механизмов.

Вопросы и задания для закрепления изученного материала

1. Перечислите виды динамических моделей, которые Вы знаете.

2. Запишите методику составления динамической модели механизма.

3. Приведите примеры динамических моделей привода, которые Вы знаете.

4. Изобразите динамическую модель рычажного механизма (на примере четырехзвенных механизмов).

Тема 16. Цилиндрические зубчатые передачи

План занятия

Классификация цилиндрических зубчатых передач. Основные геометрические параметры передачи.

Виды отказа в работоспособности этих передач. Расчет на контактную и изгибную прочность.

Методы изготовления цилиндрических зубчатых колес.

Литература: [1, с. 265–277], [5, с. 81–85].

Рекомендации по изучению темы

По рассматриваемой теме студенту следует запомнить классификацию цилиндрических передач, их методы изготовления. Научиться применять

критерии работоспособности по контактным и изгибным напряжениям. Студентам следует грамотно использовать формулы при определении геометрических параметров цилиндрической зубчатой передачи.

Вопросы и задания для закрепления изученного материала

1. Назовите признаки классификации цилиндрических зубчатых передач.
2. Перечислите геометрические параметры цилиндрической зубчатой передачи.
3. Сформулируйте последовательность действий при расчете цилиндрической передачи на контактную прочность.
4. Сформулируйте последовательность действий при расчете цилиндрической передачи на изгибную прочность.
5. Назовите методы изготовления цилиндрических зубчатых колес.

Тема 17. Конические зубчатые передачи

План занятия

Классификация конических зубчатых передач. Основные геометрические параметры этих передач.

Расчет на контактную и изгибную прочность. Методы изготовления конических зубчатых колес.

Литература: [1, с. 276], [5, с. 85–89].

Рекомендации по изучению темы

По рассматриваемой теме обучающемуся следует запомнить классификацию конических передач, их методы изготовления. Научиться применять критерии работоспособности по контактным и изгибным напряжениям для конической передачи. Студентам следует грамотно использовать формулы при определении геометрических параметров конической зубчатой передачи.

Вопросы и задания для закрепления изученного материала

1. Назовите признаки классификации конических зубчатых передач.
2. Перечислите геометрические параметры конической зубчатой передачи.
3. Сформулируйте последовательность действий при расчете конической передачи на контактную прочность.
4. Сформулируйте последовательность действий при расчете конической передачи на изгибную прочность.
5. Назовите методы изготовления конических зубчатых колес.

Тема 18. Червячные передачи

План занятия

Классификация червячных передач. Передаточное отношение и коэффициент полезного действия (КПД). Геометрические параметры червячной передачи. Примеры расчетов передачи.

Расчет на контактную и изгибную прочность. Расчет червяка на жесткость. Методы изготовления червяка и червячного колеса.

Литература: [1, с. 283–289], [5, с. 93–103].

Рекомендации по изучению темы

Студенту необходимо запомнить классификацию червячных передач, методы изготовления основных деталей этих механизмов, основы расчетов на прочность и жесткость. Научиться применять критерии работоспособности по контактным и изгибным напряжениям для червячной передачи. Следует грамотно использовать формулы при определении геометрических параметров такой передачи.

Вопросы и задания для закрепления изученного материала

1. Назовите признаки классификации червячных передач.
2. Перечислите геометрические параметры червяка и червячного колеса.
3. Сформулируйте последовательность действий при расчете червячной передачи на контактную и изгибную прочность.
4. Сформулируйте последовательность действий при расчете червяка на жесткость.
5. Назовите методы изготовления червяка и червячного колеса.

Тема 19. Валы и оси

План занятия

Вал и ось, классификация. Приближенный расчет вала.

Конструирование вала. Расчет вала на прочность и жесткость.

Литература: [1, с. 290–301; 5, с. 119–123; 8, с. 158–164].

Рекомендации по изучению темы

По рассматриваемой теме следует запомнить классификацию валов, основы расчета их геометрических параметров. Студентам необходимо понять этапы конструирования вала. Научиться применять формулы, пригодные для расчета вала на прочность и жесткость.

Вопросы и задания для закрепления изученного материала

1. Перечислите признаки классификации валов.
2. Сформируйте последовательность определения геометрических параметров вала.
3. Каким образом выполняют конструирование вала?
4. Запишите формулы, используемые при расчете вала на жесткость.
5. На промежуточном валу размещены коническое зубчатое колесо и цилиндрическая косозубая шестерня. Составьте схему приложения сил к такому валу.
6. На промежуточном валу насажены червячное колесо и цилиндрическая прямозубая шестерня. Составьте схему приложения сил к этому валу.

Тема 20. Подшипники скольжения и качения

План занятия

Подшипники скольжения и качения.

Выбор подшипников, маркировка.

Литература: [1, с. 297–308], [5, с. 124–131], [7, с. 101–147].

Рекомендации по изучению темы

Студенту следует запомнить классификацию подшипников, их конструкции. Научиться выбирать подшипники качения и расшифровывать их маркировку.

Вопросы и задания для закрепления изученного материала

1. Назовите основы классификации подшипников.
2. Изобразите схематично конструкцию подшипников качения.
3. Зарисуйте схематично подшипник скольжения.
4. Сформулируйте достоинства и недостатки подшипников скольжения.
4. Что означают для подшипника качения цифры 1608, размещенные на его торце?

Тема 21. Муфты приводов

План занятия

Назначение и классификация муфт, особенности применения.

Подбор муфт в конструкцию.

Литература: [1, с. 297–308], [5, с. 124–131], [7, с. 101–147].

Рекомендации по изучению темы

Студенту следует запомнить классификацию и назначение муфт, этапы их расчета. Научиться подбирать муфты для привода.

Вопросы и задания для закрепления изученного материала

1. Для каких целей применяют муфты?
2. Сформулируйте признаки классификации муфт.
3. Чем обусловлена необходимость применения компенсирующих муфт?
4. Для чего предназначены механические муфты.
5. По каким параметрам осуществляют подбор муфт?
6. Каково устройство муфты со звездочкой, а также втулочно-пальцевой?
7. Каковы разновидности муфт с торообразной оболочкой?

Тема 22. Ременные передачи

План занятия

Схема ременной передачи, состав звеньев.

Геометрические параметры передачи.

Критерии работоспособности и расчета ременной передачи.

Литература: [1, с. 262–265; 5, с. 103–111], [8, с. 285–289; с. 299–324].

Рекомендации по изучению темы

Студенту необходимо запомнить состав ременной передачи, ее классификацию, основы расчетов этого механизма с определением его геометрических параметров.

Вопросы и задания для закрепления изученного материала

1. Назовите детали, входящие в состав ременной передачи.
2. Перечислите виды поперечного сечения ремня.
3. Запишите формулы для определения геометрических параметров ременной передачи.

Тема 23. Цепные передачи

План занятия

Схема цепной передачи, состав звеньев.

Основные параметры передачи.

Критерии работоспособности и расчета цепной передачи.

Литература: [1, с. 261–262], [5, с. 112–118], [7, с. 297].

Рекомендации по изучению темы

По рассматриваемой теме следует запомнить состав цепной передачи, ее классификацию, основы расчетов этого механизма с определением его геометрических параметров.

Вопросы и задания для закрепления изученного материала

1. Назовите детали, входящие в состав цепной передачи.
2. Перечислите виды цепей.
3. Запишите формулы для определения геометрических параметров цепной передачи.

Тема 24. Механизмы с неподвижными и подвижными осями вращения зубчатых колес

План занятия

Многозвенные зубчатые механизмы с неподвижными осями вращения колес (кинематические схемы).

Планетарные механизмы (кинематические схемы).

Литература: [1, с. 279–281], [7, с. 218–233].

Рекомендации по изучению темы

По рассматриваемой теме студентам следует научиться получать соотношения для определения передаточного числа многозвенных зубчатых механизмов с неподвижными осями вращения валов. Изучить состав звеньев планетарных механизмов, запомнить их типовые схемы. При изучении этой темы важную роль играет знание основ структурного анализа механизмов с высшей кинематической парой.

Вопросы и задания для закрепления изученного материала

1. Зарисуйте многоступенчатую зубчатую передачу с неподвижными осями валов.

2. Запишите формулы для передаточных чисел каждой ступени зарисованной ранее многоступенчатой зубчатой передачи.

3. Изобразите схему планетарного механизма 2K-h. Поясните, из каких деталей состоит эта схема.

4. Изобразите схему планетарного механизма 2K-h с двухвенцовым сателлитом. Поясните, из каких деталей состоит эта схема.

Тема 25. Планетарные механизмы

План занятия

Выбор схем планетарных механизмов и их кинематические особенности.

Кинематический и силовой расчет. Основы конструирования планетарных передач.

Литература: [1, с. 279–281], [7, с. 218–233].

Рекомендации по изучению темы

Студентам следует запомнить этапы кинематического и силового расчета планетарных механизмов, особенности их конструирования (по сравнению с цилиндрическими и коническими зубчатыми передачами).

Вопросы и задания для закрепления изученного материала

1. Изобразите схему планетарного механизма, которую Вы знаете.

2. В чем заключается кинематический расчет планетарного механизма?

3. Запишите этапы силового расчета планетарного механизма.

4. Приведите примеры конструкций планетарных механизмов, применяемых в технологических машинах для изготовления пищевых продуктов.

Тема 26. Соединения деталей машин

План занятия

Заклепочные и сварные соединения. Резьбовые соединения. Расчет резьбовых соединений.

Шпоночные и шлицевые соединения. Методика подбора шпонок.

Литература: [1, с. 234–249], [5, с. 131–146], [7, с. 77–85].

Рекомендации по изучению темы

По рассматриваемой теме следует запомнить названия и состав звеньев в соединениях деталей машин, основные геометрические параметры упомянутых соединений, основы выбора шпонок и шлицев.

Вопросы и задания для закрепления изученного материала

1. Назовите, сколько деталей входит в состав заклепочных и сварных соединений.

2. Сколько деталей в составе резьбовых соединений?

3. Перечислите количество деталей в составе шпоночных и шлицевых соединений.

4. Назовите геометрические параметры шпонок и шлицев.

5. Как выполнить подбор шпонок и шлицев в конструкцию?

Тема 27. Сведения о стандартизации и взаимозаменяемости деталей машин

План занятия

Стандартизация, унификация, взаимозаменяемость.

Сведения о допусках и посадках.

Литература: [7, с. 353–361].

Рекомендации по изучению темы

Студентам необходимо запомнить определения понятий «стандартизация», «унификация» и «взаимозаменяемость». Научиться применять обозначения допусков формы и расположения поверхностей, а также устанавливать их числовые значения.

Вопросы и задания для закрепления изученного материала

1. Что такое стандартизация?

2. Дайте определение унификации.

3. Что такое взаимозаменяемость?

4. Приведите условные обозначения допусков формы и расположения поверхностей.

5. Как определить числовое значение допуска параллельности?

6. Как установить значение допуска перпендикулярности?

7. Как определить числовое значение допуска соосности?

1.3 Самостоятельная работа студентов после лекционных занятий

Изучать дисциплину «Техническая механика» следует поэтапно, соблюдая указанную последовательность тем. По каждой теме у студента должен быть конспект, который формируется непосредственно на лекционном занятии. В случае пропуска занятия конспект следует написать самостоятельно, опираясь на рекомендуемые литературные источники.

В третьем и четвертом семестрах студентам следует после каждого лекционного занятия ответить на вопросы и решить задания для закрепления изученного материала письменно в тетради для записи лекций. Перед самостоятельной работой по теоретическим аспектам дисциплины следует внимательно разобрать типовые примеры, рассматриваемые на лекционном занятии. Далее необходимо решить задания для закрепления материала. При возникновении трудностей в решении задания нужно сформулировать вопросы,

требующие консультации с преподавателем. При этом имеет смысл оставить место в тетради для последующего внесения решения задания, которое вызывает трудность в выполнении.

В формируемом конспекте все основные понятия должны быть определены, формулы и соотношения необходимо выделить цветом. С особой тщательностью следует выполнять изображение расчетных схем и эскизов деталей, а также узлов. На схемах нужно указывать символьное обозначение геометрических параметров, расчетных величин.

Последнее позволяет осознанно подходить к изучению лекционного материала, способствует более глубокому пониманию полученной информации и успешной сдаче экзамена.

2 ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

2.1 Тематический план практических занятий

Сформирован тематический план практических занятий по дисциплине «Техническая механика» в третьем (осеннем) семестре (таблица 3).

Таблица 3 – План практических занятий в третьем семестре

Номер темы лекционного занятия	Названия тем практического занятия
Тема 1	Чтение и описание кинематических схем приводов технологических машин
Тема 2	Структурный анализ механизмов технологических машин
Тема 3	Определение реакций связей в конструкции
Тема 4	Определение сил, действующих в передачах
Тема 5	Силовой расчет привода технологической машины
Тема 6	Растяжение и сжатие стержня. Построение эпюр продольных сил
Тема 7	Изгиб балок. Построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов
Тема 8	Кручение. Построение эпюр
Тема 9	Расчеты на прочность
Тема 10	Параметрический анализ рычажных механизмов
Тема 11	Кинематический анализ механизмов графоаналитическим методом
Тема 12	Кинематический анализ механизмов аналитическим методом
Тема 13	Подбор стандартных элементов привода и размещение его в цеховом помещении

Сформирован тематический план практических занятий по дисциплине «Техническая механика» в четвертом (весеннем) семестре (таблица 4).

Таблица 4 – План практических занятий в четвертом семестре

Номер темы лекционного занятия	Названия тем практического занятия
Тема 14	Расчет цилиндрической передачи
Тема 15	Расчет конической передачи
Тема 16	Расчет червячной передачи
Тема 17	Расчет ременной передачи
Тема 18	Расчет цепной передачи
Тема 19	Конструирование тихоходного вала. Подбор подшипников.
Тема 20	Расчет тихоходного вала с определением сил, действующих в его опорах
Тема 21	Расчет тихоходного вала на усталостную и статическую прочность

2.2 Задания к практическим занятиям

1. Практическое занятие № 1 на тему: «Чтение и описание кинематических схем приводов технологических машин».

Цель занятия

Формирование умений чтения кинематических схем приводов технологических машин, навыков их грамотного описания.

Задание

Составить кинематическую схему привода технологической машины Н2-ИСА-602, используемой для сортировки свежей кильки и салаки, по приведенному описанию: сортировочный барабан машины приводится во вращение от электродвигателя через червячный редуктор и цепную передачу.

Этапы выполнения задания

1. Внимательно прочитать описание привода технологической машины;

2. В ГОСТ 2.770 найти условные обозначения червячного редуктора и цепной передачи, изобразить их;

3. Понять, что валы передач снабжены подшипниками; соединяются друг с другом муфтами;

4. Зарисовать кинематическую схему привода машины, используемой для сортировки кильки и салаки, обозначить позициями детали, входящие в состав привода.

Вопросы и задания для самостоятельной работы

1. Используя ГОСТ 2.770, зарисуйте условное обозначение круглоременной передачи.

2. Как обозначают условно цилиндрическую зубчатую передачу шевронного типа?

3. Зарисуйте условное обозначение конической зубчатой передачи.

4. Как обозначают подшипник на кинематических схемах?

5. Применяя ГОСТ 2.770, зарисуйте условное обозначение червячной передачи в трех видах.

6. Транспортер для перемещения и сортировки мелкой рыбы снабжен приводом. Последний содержит электродвигатель, клиноременную передачу, конический редуктор и систему звездочек. Составить кинематическую схему привода транспортера.

7. Зарисовать кинематическую схему привода месильного рычага технологической машины. Описание состава привода: рычаг приводится в движение от электродвигателя, через клиноременную и косозубую цилиндрическую зубчатую передачи.

8. Составьте кинематическую схему привода дежи тестомесильной машины. Во время замеса теста дежа вращается с частотой 4 об/мин. Вал дежи связан с тихоходным валом червячного редуктора. При этом его быстроходный вал соединен посредством муфты упругой втулочно-пальцевой с валом электродвигателя.

2. Практическое занятие № 2 на тему: «Структурный анализ механизмов технологических машин».

Цель занятия

Формирование навыков структурного анализа механизмов: определение их степени подвижности, выделение структурных групп механизмов, построение структурного графа.

Задание

Зарисовать кинематическую схему механизма технологической машины. Изучить и запомнить элементы, входящие в его состав. Выполнить структурный анализ механизма: определить его степень подвижности, выделить структурные группы, построить структурный граф механизма.

Этапы выполнения задания

1. Изучить состав кинематической схемы механизма технологической машины (дано: рисунок, на котором изображена схема с подрисуночной подписью);

2. Определить степень подвижности механизма (дано: кинематическая схема; применить структурную формулу П. Л. Чебышева);

3. Выделить структурные группы механизма (дано: кинематическая схема; применяем структурную формулу П. Л. Чебышева);

4. Выполнить построение структурного графа механизма (дано: нулевое звено – стойка; степени подвижности структурных групп механизма).

При решении задачи используют структурную формулу П. Л. Чебышева, требуется установить степень подвижности механизма:

$$W = 3 \cdot n - 2 \cdot p_1 - p_2, \qquad (1.1)$$

где n – число подвижных звеньев, безразм.; p_1 – число низших кинематических пар в схеме механизма, безразм.; p_2 – число высших кинематических пар в механизме, безразм.

Вопросы и задания для самостоятельной работы

1. Назовите звенья и кинематические пары, входящие в состав кривошипно-коромыслового механизма.

2. Перечислите детали, из которых состоит кривошипно-ползунный механизм.

3. Назовите звенья и кинематические пары, входящие в состав кулисных механизмов.

4. Перечислите, какие кулисные механизмы Вы знаете.

5. Запишите структурную формулу П. Л. Чебышева. Какие параметры входят в эту формулу?

6. Какие структурные группы механизма Вы знаете? Чем они отличаются друг от друга?

7. Что такое структурный граф механизма? Как выполнить его построение?

8. Зарисуйте схему механизма по приведенному ниже описанию: «Механизм содержит кривошип, шатун, коромысло и стойку. Кривошип шарнирно связан со стойкой, совершает полный оборот вокруг точки О. Коромысло качается относительно точки O_1 и образует вращательную пару со стойкой. Шатун является звеном, соединяющим кривошип и коромысло посредством двух шарниров вращения. Обозначьте звенья и кинематические пары, входящие в состав этого механизма».

3. Практическое занятие № 3 на тему: «Определение реакций связей в конструкции».

Цель занятия

Формирование навыков в определении реакций связей в жесткозаделанных и шарнирно-опертых балках.

Задание

Дана балка с опорой в виде жесткой заделки (рисунок 3.1). К балке приложена равномерно-распределенная нагрузка $\boldsymbol{q} = 15$, кН/м. Длина балки $\boldsymbol{l_{12}} = 6$ м. Определить числовые значения реакций, возникающих в жесткой заделке.

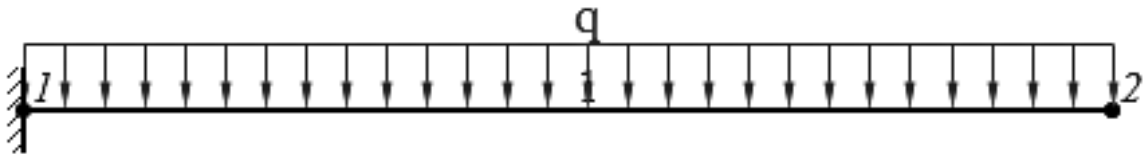

Рисунок 3.1 – Балка с опорой в виде жесткой заделки

Этапы выполнения задания

1. Ввести систему координат (дано: рисунок, на котором изображена конструкция с приложенными активными силами);

2. Вспомнить, сколько реакций связей дает жесткая заделка, отметить направление упомянутых реакций на рисунке 3.1;

3. Составить уравнения равновесия: сумму всех сил, действующих вдоль осей Z и Y; сумму моментов сил относительно какой-либо точки, например, точки 1 на рисунке 3.1. Из уравнений равновесия выразить реакции связей (дано: виды опор, активные силы, длины участков конструкции).

4. Найти реакции связей (дано: составленные уравнения равновесия, их следует решить относительно искомых реакций);

5. Выполнить проверку решения (дано: составленное уравнение равновесия, которое не участвовало в определении реакций связей).

Вопросы и задания для самостоятельной работы

1. Назовите количество реакций связей, возникающих в шарнирно-неподвижной опоре.

2. Сколько реакций связей возникает в шарнирно-подвижной опоре? При ответе на вопрос зарисуйте эту опору и обозначьте реакции связей.

3. Назовите количество реакций связей, возникающих в жесткой заделке. При ответе на вопрос зарисуйте эту опору и обозначьте реакции связей.

4. Дана балка с опорой в виде жесткой заделки (рисунок 3.2). К балке приложена равномерно-распределенная нагрузка $\boldsymbol{q} = 15$, кН/м. Длина балки $\boldsymbol{l_{12}} = 3$ м. Определить значения реакций, возникающих в жесткой заделке.

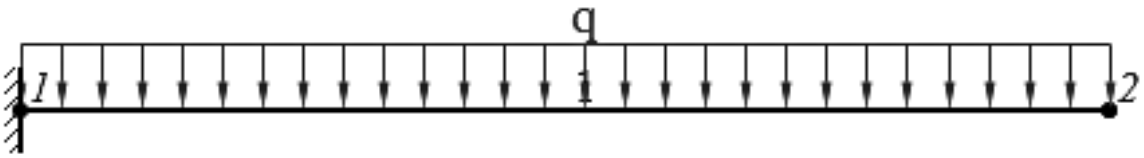

Рисунок 3.2 – Балка с опорой в виде жесткой заделки

5. Дана балка с шарнирно-неподвижной и шарнирно-подвижной опорами (рисунок 3.3). К балке приложена сосредоточенная сила $\boldsymbol{F} = 17$, кН, направленная перпендикулярно к продольной оси балки. Значения силы заданы по вариантам. Длины участков балки: $\boldsymbol{l_{12}} = \boldsymbol{l_{23}} = 1{,}5$ м. Определить числовые значения реакций связей, возникающих в шарнирных опорах.

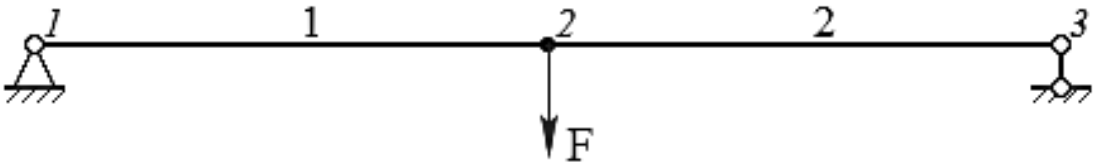

Рисунок 3.3 – Балка с шарнирно-неподвижной и шарнирно-подвижной опорами

4. Практическое занятие № 4 на тему: «Определение сил, действующих в передачах».

Цель занятия

Формирование умений определять числовые значения и направления сил, возникающих в цилиндрических, конических, и червячных передачах.

Задание

Установить значения сил, возникающих на цилиндрической косозубой шестерне при взаимодействии с колесом. Вращающий момент на быстроходном валу $\boldsymbol{T_1}$, Н·м, нормальный модуль зацепления $\boldsymbol{m_n}$, мм, делительный диаметр цилиндрической шестерни $\boldsymbol{d_1}$, мм, число зубьев шестерни $\boldsymbol{Z_1}$.

Этапы выполнения задания

1. Зарисовать ведущее и ведомое звенья цилиндрической передачи и приложить активные силы, возникающие в зацеплении (дано: название передачи, наклон зуба);

2. Записать формулы для определения сил, действующих в передаче (дано: название передачи, вращающий момент, геометрические параметры передачи);

3. Находим числовые значения сил.

При решении задачи используют следующие формулы:

1. Окружная сила, действующая на цилиндрической шестерне

$\boldsymbol{F_1} = \boldsymbol{F_{t1}} = \frac{2 \cdot T_1 \cdot 10^3}{d_1}$, Н.

2. Окружной модуль $\boldsymbol{m_t} = \frac{d_1}{Z_1}$, мм.

3. Угол наклона зуба шестерни к продольной оси вала $\boldsymbol{\beta} = arccos\left(\frac{m_n}{m_t}\right)$.

4. Радиальная сила

$\boldsymbol{F} = \boldsymbol{F_{r1}} = \frac{F_{t1} \cdot tg(\alpha)}{cos(\beta)}$, Н.

5. Осевая сила, возникающая в косозубой цилиндрической шестерне

$\boldsymbol{F_2} = \boldsymbol{F_{a1}} = F_{t1} \cdot tg(\beta)$, Н.

6. В косозубой цилиндрической передаче для сил имеем:

– окружная сила: $\boldsymbol{F_{t1}} = -\boldsymbol{F_{t2}}$;

– радиальная сила: $\boldsymbol{F_{r1}} = -\boldsymbol{F_{r2}}$;

– осевая сила: $\boldsymbol{F_{a1}} = -\boldsymbol{F_{a2}}$.

В формулах принято обозначение: $\boldsymbol{\alpha}$ – угол зацепления, град. Угол $\boldsymbol{\alpha} = 20°$.

Вопросы и задания для самостоятельной работы

1. Назовите силы, действующие в цилиндрической прямозубой передаче.

2. Сколько сил возникает в цилиндрической косозубой передаче?

3. Дана коническая зубчатая передача. Изобразите силы, действующие в этой передаче.

4. Сколько сил возникает в червячной зубчато-винтовой передаче? Назовите эти силы.

5. Установить значения сил, возникающих на цилиндрической косозубой шестерне при взаимодействии с колесом. Вращающий момент на быстроходном валу $\boldsymbol{T_1} = 200$ Н·м, нормальный модуль зацепления $\boldsymbol{m_n} = 5$ мм, делительный диаметр цилиндрической шестерни $\boldsymbol{d_1} = 250$ мм, число зубьев шестерни $\boldsymbol{Z_1} = 48$.

6. Определить силы, действующие в цилиндрической прямозубой передаче. Вращающий момент цилиндрического зубчатого колеса $\boldsymbol{T_2} = 700$ Н·м; делительный диаметр колеса $\boldsymbol{d_2} = 400$ мм. Угол наклона линии зуба к продольной оси колеса равен 0°, поскольку передача прямозубая.

5. Практическое занятие № 5 на тему: «Силовой расчет привода технологической машины».

Цель занятия

Формирование навыков при определении силовых параметров в процессе расчета привода.

Задание

Выполнить силовой расчет привода технологической машины. Привод содержит одноступенчатую цилиндрическую передачу. Определить значения вращающих моментов на быстроходном $\boldsymbol{T_1}$ и тихоходном $\boldsymbol{T_2}$ валах. Известно, что мощность вала электродвигателя $\boldsymbol{P}_{эл}$, кВт, угловая скорость этого вала $\boldsymbol{\omega}_{эл}$, рад/с. Передаточное число передачи $\boldsymbol{u}$, безразм.

Этапы выполнения задания

1. Выполнить анализ кинематической схемы привода, выбрать коэффициенты полезного действия (КПД) элементов, входящих в привод (дано: кинематическая схема привода, справочная информация по КПД элементов механизма);

2. Установить частоту вращения вала электродвигателя (дано: угловая скорость вала электродвигателя);

3. Определить мощность тихоходного вала, вращающие моменты на быстроходном и тихоходном валу передачи (дано: параметры вала электродвигателя и быстроходного вала).

При расчете применяем формулы:

1. Мощность быстроходного вала привода $\boldsymbol{P_1} = P_{эл} \cdot \eta_м \cdot \eta_{п.к.}$, кВт.

2. Частота вращения вала электродвигателя $\boldsymbol{n}_{эл} = \frac{30 \cdot \omega_{эл}}{\pi}$, об/мин; $\boldsymbol{n_1} = \boldsymbol{n}_{эл}$, об/мин.

3. Вращающий момент на быстроходном валу передачи

$\boldsymbol{T_1} = \frac{P_1 \cdot 10^3}{\omega_1}$, $\boldsymbol{\omega_1} = \boldsymbol{\omega}_{эл}$, рад/с,

где $\boldsymbol{P_1}$ – мощность на быстроходном валу, взятая в расчет в киловаттах.

4. Мощность тихоходного вала привода $\boldsymbol{P_2} = P_1 \cdot \eta_{цил.п.} \cdot \eta_{п.к.}$, кВт.

5. Частота вращения и угловая скорость на тихоходном валу

$\boldsymbol{n_2} = \frac{n_1}{u}$, об/мин, $\boldsymbol{\omega_2} = \frac{\pi \cdot n_2}{30}$, рад/с.

6. Вращающий момент на тихоходном валу передачи $\mathbf{T_2} = \frac{P_2 \cdot 10^3}{\omega_2}$, Н·м,

где $\boldsymbol{P_2}$ – мощность на тихоходном валу, взятая в расчет в киловаттах.

Вопросы и задания для самостоятельной работы

1. Из каких элементов состоит привод с одноступенчатой цилиндрической зубчатой передачей?

2. Назовите числовые значения КПД пары подшипников качения, цилиндрической зубчатой передачи (закрытой, открытой), КПД муфты.

3. Чему равен КПД закрытой конической передачи?

4. Назовите значение КПД червячной передачи (закрытой, открытой).

5. Сколько подшипников качения входит в состав одноступенчатого редуктора?

6. Как называется вал, на котором размещена шестерня цилиндрической зубчатой передачи?

7. Как называется вал, на котором размещено зубчатое колесо цилиндрической передачи?

8. Дана одноступенчатая цилиндрическая зубчатая передача. Мощность тихоходного вала 3,6 кВт. Коэффициент полезного действия подшипников качения 0,99; цилиндрической передачи – 0,97; зубчатой муфты – 0,98. Определить мощность на быстроходном валу такой передачи.

6. Практическое занятие № 6 на тему: «Растяжение и сжатие стержня. Построение эпюр продольных сил».

Цель занятия

Формирование навыка в определении реакций связей в стержнях, умений строить эпюры внутренних силовых факторов при растяжении, сжатии.

Задание

Стержень жестко закреплен одним концом и нагружен силами $\boldsymbol{F_1}$, Н и $\boldsymbol{F_2}$, Н (рисунок 6.1). Обе силы расположены вдоль продольной оси стержня и направлены противоположно друг другу. Определить реакцию связей в жесткой заделке, построить эпюру продольных сил $\boldsymbol{N}$, Н.

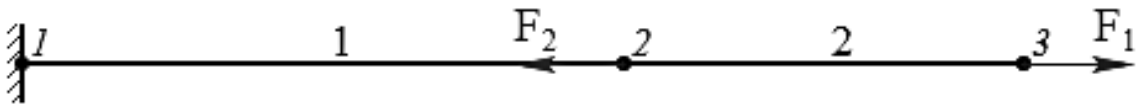

Рисунок 6.1 – Схема стержня

Этапы выполнения задания

1. Составить уравнение равновесия для определения реакции $\boldsymbol{R_{Az} = Z_A}$ (дано: схема жестко заделанного стержня, активные силы, действующие на конструкцию);

2. Разделить стержень на участки. Использовать метод сечений и определить значения продольных сил на каждом участке (дано: схема жестко заделанного стержня, активные силы и реакция связи, действующие на конструкцию);

3. Выполнить построение эпюры продольных сил (дано: схема жестко заделанного стержня с указанными участками, установленные значения продольных сил).

Вопросы и задания для самостоятельной работы

1. Дан жестко заделанный стержень (рисунок 6.2). К его концу приложена сила $\boldsymbol{F} = 15$, Н. Определить реакцию связей в жесткой заделке, построить эпюру продольных сил $\boldsymbol{N}$, Н.

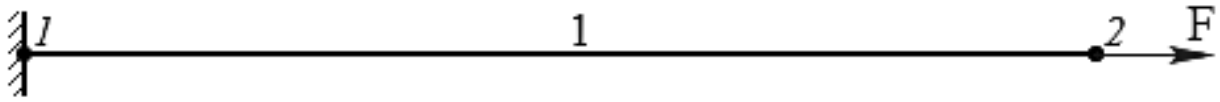

Рисунок 6.2 – Схема стержня к заданию 1

2. Дан жестко заделанный стержень (рисунок 6.3). К его концу приложена сила $\boldsymbol{F} = 30$, Н. Определить реакцию связей в жесткой заделке, построить эпюру продольных сил $\boldsymbol{N}$, Н.

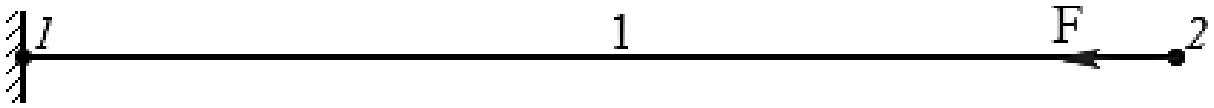

Рисунок 6.3 – Схема стержня к заданию 2

3. Стержень жестко закреплен одним концом и нагружен силами $\boldsymbol{F_1} = 45$, Н и $\boldsymbol{F_2} = 25$, Н (рисунок 6.4). Обе силы расположены вдоль продольной оси стержня и направлены противоположно друг другу. Определить реакцию связи в жесткой заделке, построить эпюру продольных сил $\boldsymbol{N}$, Н.

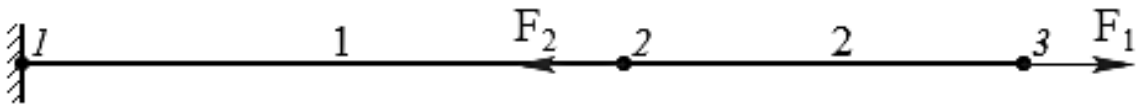

Рисунок 6.4 – Схема стержня к заданию 3

4. Стержень жестко закреплен одним концом и нагружен силами $\boldsymbol{F_1} = 11$, Н и $\boldsymbol{F_2} = 10$, Н (рисунок 6.5). Обе силы расположены вдоль продольной оси стержня и направлены в одну сторону (вправо). Определить реакцию связи в жесткой заделке, построить эпюру продольных сил $\boldsymbol{N}$, Н.

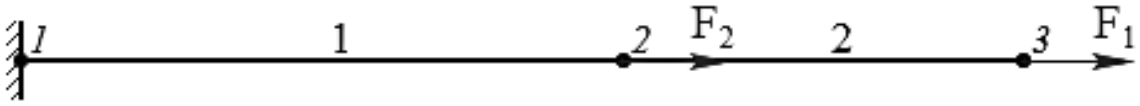

Рисунок 6.8 – Схема стержня к заданию 4

5. Сформулируйте правило знаков, используемое при растяжении, сжатии.

6. Дополните фразу: «Границы участков стержня определяются … приложения сосредоточенных сил».

7. Изобразите стержень без опоры в состоянии растяжения.

8. Нарисуйте стержень с жесткой заделкой, размещенной справа. Этот стержень слева нагружен сжимающей сосредоточенной силой, направленной продольно его оси.

7. Практическое занятие № 7 на тему: «Изгиб балок. Построение эпюр поперечных сил и изгибающих моментов».

Цель занятия

Формирование навыков в построении эпюр внутренних силовых факторов, возникающих при изгибе.

Задание

Дана балка с опорой в виде жесткой заделки (рисунок 7.1). К балке приложена равномерно-распределенная нагрузка $\boldsymbol{q}$, кН/м. Длина балки $\boldsymbol{l_{12}}$, м. Реакции связей в жесткой заделке составляют: $\boldsymbol{Y_A}$, кН; $\boldsymbol{Z_A}$, кН и $\boldsymbol{M_A}$, кН·м. Построить эпюры внутренних силовых факторов, возникающих в балке при изгибе.

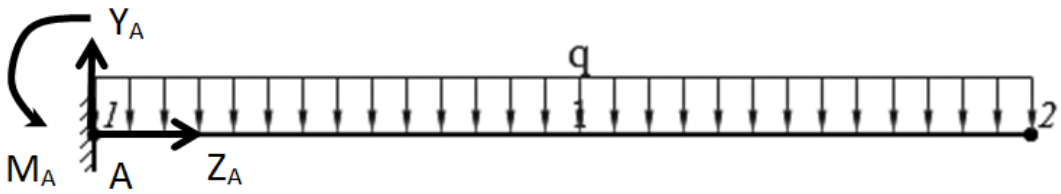

Рисунок 7.1 – Балка с опорой в виде жесткой заделки

Этапы выполнения задания

1. Разделить балку на участки. Использовать метод сечений, составить уравнение равновесия для определения поперечной силы, построить эпюру этой силы (дано: активные силы и реакции связей, длины участков балки);

2. Применить метод сечений, составить уравнение равновесия для определения изгибающего момента, построить эпюру этого момента (дано: активные силы и реакции связей, длины участков балки).

3. Проверить правильность построения эпюр поперечных сил и изгибающих моментов (дано: схема балки с построенными эпюрами).

Вопросы и задания для самостоятельной работы

1. Дана балка с опорой в виде жесткой заделки (рисунок 7.2). К балке приложена равномерно-распределенная нагрузка $\boldsymbol{q} = 15$, кН/м. Значение нагрузки задано по вариантам. Длина балки $\boldsymbol{l_{12}} = 7$ м. Определить числовые значения реакций, возникающих в жесткой заделке. Построить эпюры внутренних силовых факторов – поперечной силы и изгибающего момента.

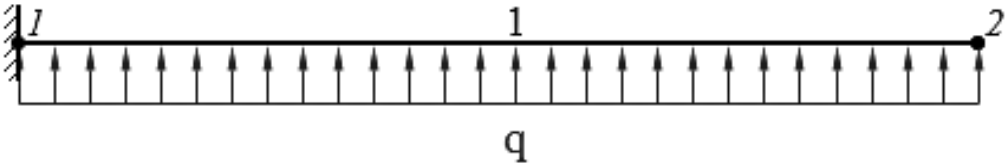

Рисунок 7.2 – Схема балки к заданию 1

2. Дана балка с шарнирно-неподвижной и шарнирно-подвижной опорами (рисунок 7.3). К балке приложена сосредоточенная сила $\boldsymbol{F} = 5$, кН, направленная перпендикулярно к продольной оси конструкции. Длины участков балки: $\boldsymbol{l_{12}} = \boldsymbol{l_{23}} = 2$ м. Определить числовые значения реакций, возникающих в шарнирных опорах. Построить эпюры внутренних силовых факторов – поперечной силы и изгибающего момента.

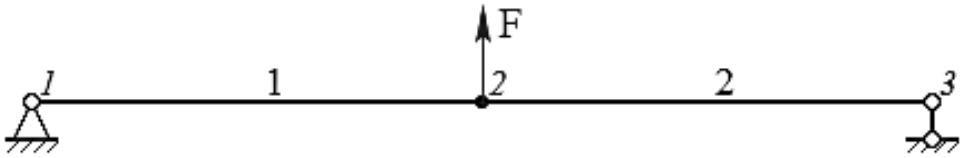

Рисунок 7.3 – Схема балки к заданию 2

3. Какой вид будут иметь эпюры поперечных сил и изгибающих моментов при решении задачи по рисунку 7.2?

4. Какой вид будут иметь эпюры поперечных сил и изгибающих моментов при решении задачи по рисунку 7.3?

8. Практическое занятие № 8 на тему: «Кручение. Построение эпюр».

Цель занятия

Формирование навыков в построении эпюр внутренних силовых факторов, возникающих при кручении.

Задание

Построить эпюру крутящих моментов для вала. Направления вращающих моментов $\boldsymbol{M_1}$, $\boldsymbol{M_2}$, $\boldsymbol{M_3}$ и $\boldsymbol{M_4}$, Н·м даны на рисунке 8.1.

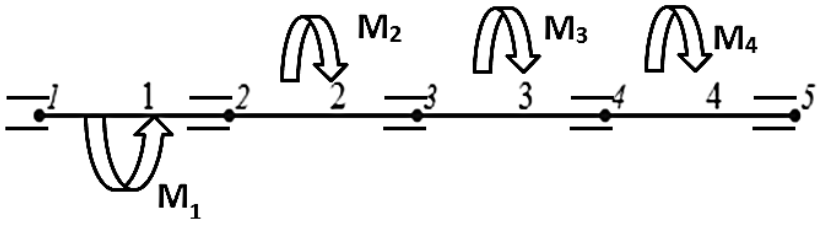

Рисунок 8.1 – Схема вала

Этапы выполнения задания

1. Составить условие равновесия – сумму моментов всех активных силовых факторов, действующих относительно оси $\boldsymbol{Z}$ (дано: схема вала, значения вращающих моментов $\boldsymbol{M_1}$, $\boldsymbol{M_2}$, … $\boldsymbol{M_n}$, Н·м);

2. Применить метод сечений, составить уравнения равновесия для определения крутящего момента, построить эпюру этого момента (дано: схема вала, значения вращающих моментов $\boldsymbol{M_1}$, $\boldsymbol{M_2}$, … $\boldsymbol{M_n}$, Н·м, направления этих моментов);

3. Проверить правильность построения эпюр крутящих моментов (дано: схема вала с построенными эпюрами).

Вопросы и задания для самостоятельной работы

1. Назовите единицу измерения крутящего момента.

2. Как называется конструкция, которая работает на кручение?

3. Дополните фразу: «Конструкция, работающая на изгиб, – это …».

4. Сформулируйте название конструкции, которая работает на растяжение, сжатие.

5. Вал вращается равномерно. К валу приложен вращающий момент $\boldsymbol{M_1} = 7000$, Н·м, направленный по ходу часовой стрелки, если смотреть на вал слева (рисунок 8.2). Определить значение направления момента $\boldsymbol{M_2}$, Н·м. Построить эпюру крутящих моментов.

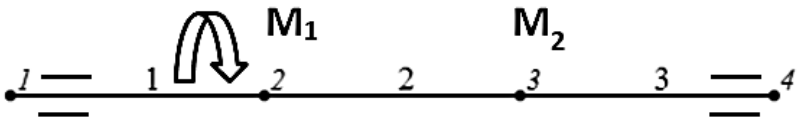

Рисунок 8.2 – Схема вала к задаче 5

6. Построить эпюру крутящих моментов для вала. Направления вращающих моментов, равных $\boldsymbol{M_1} = 2500$, $\boldsymbol{M_2} = 1500$, $\boldsymbol{M_3} = 900$ и $\boldsymbol{M_4} = 100$, Н·м, даны на рисунке 8.3.

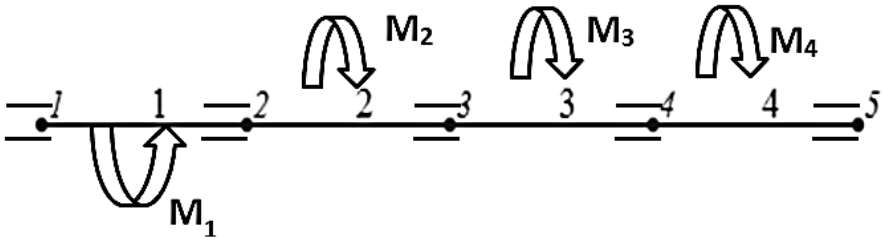

Рисунок 8.3 – Схема вала к задаче 6

9. Практическое занятие № 9 на тему: «Расчеты на прочность».

Цель занятия

Формирование навыков в выполнении расчетов на прочность конструкций.

Задание

Дан максимальный изгибающий момент $\boldsymbol{M_{max}}$, действующий в сечении балки, кН·м. Балка изготовлена из стали Ст5, допускаемое напряжение которой составляет $[\boldsymbol{\sigma}]$, МПа. Сечение балки – круг диаметром $\boldsymbol{d}$, см. Выполнить проверку прочности балки.

Этапы выполнения задания

1. Проверить прочность конструкции (дано: максимальный изгибающий момент, марка материала и размер сечения конструкции);

2. Определить допускаемую продольную силу (дано: максимальная продольная сила, марка материала, высота и ширина сечения конструкции);

3. Подобрать сечение конструкции (дано: максимальный крутящий момент, марка материала и вид сечения конструкции).

Вопросы и задания для самостоятельной работы

1. Дан максимальный изгибающий момент $\boldsymbol{M_{max}} = 28$, кН·м, действующий в сечении балки. Балка изготовлена из стали 45, допускаемое напряжение которой составляет $[\boldsymbol{\sigma}] = 175$, МПа. Сечение балки – круг диаметром $\boldsymbol{d} = 15$, см. Выполнить проверку прочности балки.

2. Дана максимальная продольная сила $\boldsymbol{N_{max}} = 65$, кН, действующая в сечении стержня. Конструкция изготовлена из стали Ст2, допускаемое напряжение которой составляет $[\boldsymbol{\sigma}] = 140$, МПа. Сечение стержня – прямоугольник высотой $\boldsymbol{h} = 15$, см, шириной $\boldsymbol{b} = 20$, см. Определить допускаемую продольную силу.

3. Допускаемое напряжение при расчете на прочность принято 200 МПа. После подбора геометрических размеров прямоугольного стержня расчетное напряжение составило 198 МПа. Грозит ли стержню опасность разрушения?

4. Определить диаметр вала, удовлетворяющий условию прочности на кручение. Материал вала – сталь 45. Допускаемое напряжение на кручение $[\boldsymbol{\tau}_{\text{к}}] = 150$, МПа. Наибольший крутящий момент составляет $\boldsymbol{M}_{\text{к(max)}} = 2{,}5$, кН·м.

5. Вычислите полярный момент сопротивления сечения круглого сплошного вала $\boldsymbol{d} = 35$, мм.

6. В каких единицах измеряют осевой момент инерции сечения?

7. Чему равен осевой момент сопротивления сечения балки, у которой поперечное сечения выполнено в виде прямоугольника?

10. Практическое занятие № 10 на тему: «Параметрический анализ рычажных механизмов».

Цель занятия

Формирование навыков в определении геометрических размеров звеньев рычажных механизмов.

Задание

Дан кривошипно-коромысловый механизм, применяемый в составе промышленной щековой дробилки для измельчения пищевых сред. Относительные длины кривошипа $\boldsymbol{\lambda_1}$ и коромысла $\boldsymbol{\lambda_3}$. Установить значение параметра $\boldsymbol{\lambda_2}$ для шатуна. Задавшись действительным значением длины межцентрового расстояния $\boldsymbol{l_0}$, мм, определить действительные длины подвижных звеньев механизма. Оценить максимальное и минимальное значения угла передачи $\boldsymbol{\mu}$, а также угол размаха коромысла $\boldsymbol{\beta_0}$.

Этапы выполнения задания

1. Зарисовать схему механизма в обозначенном по условию задачи положении;

2. На схеме механизма указать заданные геометрические параметры (длины и углы);

3. Составить формулы для определения геометрических параметров механизма;

4. Подставить в формулы числовые значения известных параметров и получить результат.

При расчете применим формулы:

1. Кривошипно-коромысловый механизм относится к семейству механизмов ККМ-6, формула для определения относительной длины шатуна имеет вид

$$\boldsymbol{\lambda_2} = \sqrt{1 - (\lambda_3 - \lambda_1)^2}.$$

2. Зададимся длиной межцентрового расстояния. Тогда действительные длины подвижных звеньев механизма составят:

– длина кривошипа $\boldsymbol{l_1} = \lambda_1 \cdot l_0$, мм;

– длина шатуна $\boldsymbol{l_2} = \lambda_2 \cdot l_0$, мм;

– длина коромысла $\boldsymbol{l_3} = \lambda_3 \cdot l_0$, мм.

3. Минимальное значение угла передачи установить по формуле

$$\boldsymbol{\mu_{min}} = arccos\left(\frac{\lambda_1 \cdot (1-\lambda_1+\lambda_3)}{\lambda_2 \cdot \lambda_3}\right).$$

4. Максимальный угол передачи определить по соотношению

$$\boldsymbol{\mu_{max}} = arccos\left(\frac{\lambda_1 \cdot (cos[arccos(\lambda_1-\lambda_3)]-\lambda_1+\lambda_3)}{\lambda_2 \cdot \lambda_3}\right).$$

5. Угол размаха коромысла $\boldsymbol{\beta_0}$ равен

$$\boldsymbol{\beta_0} = arccos\left(\frac{1-\lambda_2^2+\lambda_1 \cdot \left[\sqrt{1-\lambda_2^2}-\lambda_2\right]}{\sqrt{1-\lambda_2^2}+\lambda_1}\right) - arccos\left(\frac{1-\lambda_2^2+\lambda_1 \cdot \left[\sqrt{1-\lambda_2^2}+\lambda_2\right]}{\sqrt{1-\lambda_2^2}+\lambda_1}\right).$$

Выполнить анализ полученных геометрических параметров механизма, сделать заключение о его силовой работоспособности и технологической пригодности для целей дробления.

Вопросы и задания для самостоятельной работы

1. Сформулируйте определения угла давления.

2. Дан кривошипно-коромысловый механизм, применяемый в составе толкателя термических печей. Относительные длины кривошипа $\boldsymbol{\lambda_1} = 0{,}120$ и шатуна $\boldsymbol{\lambda_2} = 0{,}888$. Установить значение параметра $\boldsymbol{\lambda_3}$ для коромысла. Задавшись действительным значением длины кривошипа $\boldsymbol{l_1}$, мм, определить действительные длины звеньев механизма. Оценить максимальное и минимальное значения угла передачи $\boldsymbol{\mu}$, а также угол размаха коромысла $\boldsymbol{\beta_0}$.

3. Дан кривошипно-коромысловый механизм, применяемый в двухцилиндровом компрессоре. Относительные длины шатуна $\boldsymbol{\lambda_2} = 0{,}944$ и коромысла $\boldsymbol{\lambda_3} = 0{,}344$. Установить значение параметра $\boldsymbol{\lambda_1}$ для кривошипа. Задавшись действительным значением длины межцентрового расстояния $\boldsymbol{l_0}$, мм, определить действительные длины подвижных звеньев механизма. Оценить максимальное и минимальное значения угла передачи $\boldsymbol{\mu}$, а также угол размаха коромысла $\boldsymbol{\beta_0}$.

4. Для кривошипно-ползунного механизма, находящегося в положении, при котором кривошип перпендикулярен линии $\boldsymbol{OB}$, установить его геометрические параметры. Известна длина кривошипа $\boldsymbol{l_1} = 60$ мм и максимальное значение угла давления $\boldsymbol{\alpha} = 45°$.

5. Для кривошипно-кулисного механизма с качающейся кулисой известны из условий компоновки оборудования линии: угловой ход кулисы $\boldsymbol{\gamma} = 120°$, а также длина межосевого межцентрового расстояния $\boldsymbol{l_0} = 100$ мм. Установить значение рабочей длины кулисы в положении механизма, когда кривошип перпендикулярен кулисе. Определить полную длину кулисы, длину кривошипа и линейный ход свободной точки кулисы.

11. Практическое занятие № 11 на тему: «Кинематический анализ механизмов графоаналитическим методом».

Цель занятия

Формирование навыков в определении скоростей точек звеньев механизма графоаналитическим методом.

Задание

Выполнить кинематический анализ кривошипно-коромыслового механизма графоаналитическим методом. Задано положение механизма, направления скоростей его точек А и В. Геометрические параметры и угловая скорость кривошипа равны: $\boldsymbol{l_1}$, мм; $\boldsymbol{l_2}$, мм; $\boldsymbol{l_3}$, мм; $\boldsymbol{l_0}$, мм; $\boldsymbol{\omega_1}$, рад/с.

Этапы выполнения задания

1. Построить текущее положение (задано в задании) рычажного механизма;

2. Нанести заданное направление скоростей точек $\boldsymbol{A}$ и $\boldsymbol{B}$ на схему механизма;

3. Найти мгновенный центр скоростей для рассматриваемого положения механизма. Для этого восстановить перпендикуляры к скоростям точек $\boldsymbol{A}$ и $\boldsymbol{B}$ звеньев механизма;

4. Определить скорость точки $\boldsymbol{B}$ в заданном положении механизма по известной формуле.

Скорость точки $\boldsymbol{B}$

$$\boldsymbol{V_B} = \frac{\boldsymbol{V_A \cdot BP_2}}{\boldsymbol{AP_2}} = \frac{\boldsymbol{\omega_1 \cdot l_1 \cdot BP_2}}{\boldsymbol{AP_2}},$$

где $\boldsymbol{l_1}$ – длина кривошипа, заданная в миллиметрах. Числовое значение параметра $\boldsymbol{l_1}$ в формулу подставляется в метрах; $\boldsymbol{\omega_1}$ – угловая скорость кривошипа, рад/с.; $\boldsymbol{AP_2}$, $\boldsymbol{BP_2}$ – отрезки, измеренные линейкой непосредственно на построенном текущем положении механизма.

Вопросы и задания для самостоятельной работы

1. Составьте алгоритм определения скорости точки $\boldsymbol{B}$, принадлежащей коромыслу, для кривошипно-коромыслового механизма, используя понятие о мгновенном центре скоростей (МЦС).

2. Составьте алгоритм определения ускорения точки $\boldsymbol{B}$, принадлежащей коромыслу, для кривошипно-коромыслового механизма, используя понятие о мгновенном центре ускорений (МЦУ).

3. Дайте определение понятия «мгновенный центр скоростей».

4. Дайте определение понятия «мгновенный центр ускорений».

5. Дан кривошипно-коромысловый механизм в текущем положении, при котором кривошип перпендикулярен линии центров $\boldsymbol{OO_1}$. Выполнить кинематический анализ заданного механизма графоаналитическим методом. Геометрические параметры и угловая скорость кривошипа равны: $\boldsymbol{l_1} = 30$ мм; $\boldsymbol{l_2} = 30$ мм; $\boldsymbol{l_3} = 100$ мм; $\boldsymbol{l_0} = 100$ мм; $\boldsymbol{\omega_1}$ = 55 рад/с.

12. Практическое занятие № 12 на тему: «Кинематический анализ механизмов аналитическим методом».

Цель занятия

Формирование навыков в определении характера изменения аналогов скоростей и ускорений точек звеньев механизма аналитическим методом.

Задание

Выполнить кинематический анализ кривошипно-кулисного механизма с поступательно движущейся кулисой. Геометрические параметры и угловая скорость кривошипа такого механизма составляют: $\boldsymbol{l_0} = 70$ мм; $\boldsymbol{l_1} = 60$ мм; $\boldsymbol{\omega_1}$ = 125 рад/с.

Этапы выполнения задания

1. Построить текущее положение рычажного механизма, заданное по условию задачи (дано: кинематическая схема механизма);

2. Выполнить вывод функции положения механизма (дано: геометрические параметры и положение механизма);

3. Вывести первую и вторую геометрические передаточные функции (дано: геометрические параметры и положение механизма).

При расчете применим формулы.

1. Функция положения поступательно движущейся кулисы определяется по формуле

$$\Pi(\boldsymbol{\varphi}) = \boldsymbol{l_1} \cdot \mathbf{sin}(\boldsymbol{\varphi}),$$

где $\boldsymbol{\varphi}$ – угол поворота кривошипа, град.

2. Первая геометрическая передаточная функция является производной от функции положения

$$\Pi'(\boldsymbol{\varphi}) = \boldsymbol{l_1} \cdot \mathbf{cos}(\boldsymbol{\varphi}).$$

3. Вторая геометрическая передаточная функция – производная от первой геометрической передаточной функции

$$\Pi''(\boldsymbol{\varphi}) = -\boldsymbol{l_1} \cdot \mathbf{sin}(\boldsymbol{\varphi}).$$

Функция положения иллюстрирует ряд текущих положений кулисы, первая геометрическая передаточная функция – это аналог скорости кулисы, вторая геометрическая передаточная функция – это аналог ускорения кулисы.

Вопросы и задания для самостоятельной работы

1. Запишите функцию положения для кривошипно-ползунного механизма.

2. Напишите соотношение для определения функции положения кривошипно-кулисных механизмов с качающейся и вращающейся кулисами.

3. Запишите функцию положения для кулисного механизма с поступательно движущейся кулисой.

4. Запишите первую и вторую геометрические передаточные функции для кривошипно-ползунного механизма.

5. Напишите соотношения для определения первой и второй геометрических передаточных функций кривошипно-кулисных механизмов с качающейся и вращающейся кулисами.

6. Запишите первую и вторую геометрические передаточные функции для кулисного механизма с поступательно движущейся кулисой.

7. Как установить скорость точки ***A***, принадлежащей кривошипу, зная его длину и угловую скорость?

8. Как установить ускорение точки ***A***, принадлежащей кривошипу, зная его длину и угловое ускорение?

13. Практическое занятие № 13 на тему: «Подбор стандартных элементов привода и размещение его в цеховом помещении».

Цель занятия

Формирование навыков подбора электродвигателя, муфты и редуктора, развитие умений размещать привод в цеховом помещении.

Задание

Дан привод с одноступенчатым цилиндрическим редуктором. Выполнить подбор элементов привода, по отдельной рекомендации преподавателя разместить привод в цеховом помещении и начертить план размещения в масштабе 1:5.

Этапы выполнения задания

1. Выполнить подбор электродвигателя (дано: мощность и угловая скорость тихоходного вала);

2. Определить кинематические и силовые параметры быстроходного и тихоходного валов (дано: мощность и частота вращения вала электродвигателя);

3. Выполнить подбор одноступенчатого цилиндрического редуктора (дано: вращающий момент на тихоходном валу редуктора, передаточное число);

4. Подобрать муфту (дано: вращающий момент на валу, диаметр вала, вид муфты).

Подбор электродвигателя, муфты и редуктора выполняют по соответствующему каталогу. Из него выписывают габаритные размеры перечисленных изделий. Упомянутые размеры применяют при подготовке плана цехового помещения с размещенным в нем приводом.

Вопросы и задания для самостоятельной работы

1. Из каких элементов состоит одноступенчатый цилиндрический редуктор?

2. Назовите числовое значение КПД пары подшипников качения.

3. Назовите значение КПД цилиндрической зубчатой передачи (закрытой, открытой).

4. Назовите числовое значение КПД муфты.

5. Сколько подшипников качения входит в состав одноступенчатого редуктора?

6. Как называется вал, на котором размещена шестерня цилиндрической зубчатой передачи?

7. Как называется вал, на котором размещено зубчатое колесо цилиндрической передачи?

8. Дана одноступенчатая цилиндрическая зубчатая передача. Мощность тихоходного вала 2,6 кВт. Коэффициент полезного действия подшипников качения 0,99; цилиндрической передачи – 0,97; зубчатой муфты – 0,98. Определить мощность на быстроходном валу такой передачи.

9. Дана одноступенчатая коническая зубчатая передача. Мощность тихоходного вала 3,5 кВт. Коэффициент полезного действия подшипников качения 0,99; конической передачи – 0,96; зубчатой муфты – 0,98. Определить мощность на быстроходном валу такой передачи.

10. Дана одноступенчатая червячная передача. Мощность тихоходного вала 5,5 кВт. Коэффициент полезного действия подшипников качения 0,99; червячной передачи – 0,7; зубчатой муфты – 0,98. Определить мощность на быстроходном валу такой передачи.

14. Практическое занятие № 14 на тему: «Расчет цилиндрической передачи».

Цель занятия

Формирование навыков в определении геометрических параметров цилиндрической зубчатой передачи.

Задание

Определить геометрические параметры цилиндрической зубчатой передачи, если известен вращающий момент $\mathbf{T_2}$, Н·мм на тихоходном валу передачи, передаточное число **u**, характеристики материала шестерни или зубчатого колеса. Исходные данные заданы по вариантам.

Этапы выполнения задания

1. Определить межосевое расстояние передачи;
2. Выполнить расчет ширины зубчатого венца и модуля;
3. Установить число зубьев шестерни и колеса, а также диаметры.

Формулы, применяемые для расчета.

1. Межосевое расстояние установим по формуле:

$$\boldsymbol{a} = 0{,}85 \cdot (u+1) \cdot \sqrt[3]{\frac{E_{\text{пр.}} \cdot T_2 \cdot k_{H\beta}}{[\sigma_{H2}]^2 \cdot u^2 \cdot \psi_{ba}}},$$

где $\mathbf{u}$ – передаточное число, безразм.; $\boldsymbol{E}_{\text{пр.}}$ – приведенный модуль упругости материалов шестерни и колеса, для сталей: $\boldsymbol{E}_{\text{пр.}} = \boldsymbol{E_1} = \boldsymbol{E_2} = 2{,}1 \cdot 10^5$ МПа; $\boldsymbol{T_2}$ – вращающий момент на тихоходном валу передачи, Н·мм; $\boldsymbol{k_{H\beta}}$ – коэффициент неравномерности распределения нагрузки по длине зуба, $\boldsymbol{k_{H\beta}} = 1{,}1 \ldots 1{,}2$; $[\boldsymbol{\sigma_H}]_{\mathbf{2}}$ – допускаемое контактное напряжение для материала зубчатого колеса, МПа; $\boldsymbol{\psi}_{ba}$ – коэффициент ширины зубчатого колеса, $\boldsymbol{\psi_{ba}} = 0{,}3 \ldots 0{,}5$.

2. Ширина зубчатого зацепления $\boldsymbol{b'_W} = \psi_{ba} \cdot a$, мм.

3. Модуль зубчатого зацепления

$$\boldsymbol{m} = \frac{b_W}{\psi_m}, \text{ мм},$$

где $\boldsymbol{\psi_m}$ – коэффициент, равный 20 … 30.

4. Суммарное число зубьев $\boldsymbol{Z_\Sigma} = \frac{2 \cdot a}{m}$.

Число зубьев шестерни $\boldsymbol{Z_1} = \frac{Z_\Sigma}{u+1}$.

Значение $\boldsymbol{Z_1}$ округляем до целого числа.

6. Число зубьев зубчатого колеса составит $\boldsymbol{Z_2} = Z_\Sigma - Z_1$.

7. Уточним значение передаточного числа, определив его фактическое значение $\boldsymbol{u} = \frac{Z_2}{Z_1}$.

8. Осевой шаг $\boldsymbol{P} = \pi \cdot m$, мм.

9. Делительные диаметры шестерни и колеса

$$\boldsymbol{d_1} = m \cdot Z_1, \text{ мм}; \boldsymbol{d_2} = m \cdot Z_2, \text{ мм}.$$

10. Диаметры окружности впадин зубьев для шестерни и зубчатого колеса

$$\boldsymbol{d_{f1}} = m \cdot (Z_1 - 2{,}5), \text{ мм}; \boldsymbol{d_{f2}} = m \cdot (Z_2 - 2{,}5), \text{ мм}.$$

11. Диаметры окружности выступов зубьев для шестерни и зубчатого колеса

$$\boldsymbol{d_{a1}} = m \cdot (Z_1 + 2), \text{ мм}; \boldsymbol{d_{a2}} = m \cdot (Z_2 + 2), \text{ мм}.$$

12. Межосевое (межцентровое) расстояние в цилиндрической зубчатой передаче $\boldsymbol{a} = \frac{d_1 + d_2}{2}$, мм.

Вопросы и задания для самостоятельной работы

1. От каких факторов зависит числовое значение межосевого расстояния для цилиндрической передачи?

2. Значение ширины зубчатого венца у цилиндрической передачи является функцией … параметров.

3. От каких параметров зависит модуль зубчатого зацепления цилиндрической передачи?

4. Делительный диаметр шестерни и колеса для цилиндрической передачи представляет собой произведение ...

5. От каких параметров зависит числовое значение суммарного числа зубьев шестерни и колеса для цилиндрической передачи?

6. По какой формуле устанавливают диаметр по впадинам зубьев шестерни и колеса для цилиндрической передачи?

7. По какой формуле определяют диаметр по выступам зубьев шестерни и колеса для цилиндрической передачи?

8. Назовите формулу для определения межосевого (межцентрового) расстояния для цилиндрической зубчатой передачи внешнего зацепления.

9. Назовите формулу для определения межосевого (межцентрового) расстояния для цилиндрической зубчатой передачи внутреннего зацепления.

10. Изобразите эскизно цилиндрическую зубчатую передачу на листе миллиметровой бумаги по полученным геометрическим размерам.

15. Практическое занятие № 15 на тему: «Расчет конической передачи».

Цель занятия

Формирование навыков в определении геометрических параметров конической зубчатой передачи.

Задание

Определить геометрические параметры конической зубчатой передачи с прямым зубом, если известен вращающий момент $\mathbf{T_2}$, Н·мм на тихоходном валу передачи, передаточное число **u**, характеристики материала шестерни или зубчатого колеса.

Этапы выполнения задания

1. Определить диаметр на внешнем конусе колеса;
2. Выполнить расчет внешнего конусного расстояния;
3. Установить число зубьев шестерни и колеса, а также диаметры.

Формулы, применяемые для расчета.

1. Делительный диаметр на внешнем конусе колеса установим по формуле:

$$\boldsymbol{d_{e2}} = 1{,}7 \cdot \sqrt[3]{\frac{E_{\text{пр.}} \cdot T_2 \cdot u \cdot k_{H\beta}}{\vartheta_H \cdot [\sigma_H]^2 \cdot (1 - K_{be}) \cdot K_{be}}}, \text{ мм},$$

где $\boldsymbol{E}_{\text{пр.}}$ – приведенный модуль упругости материалов шестерни и колеса, для сталей: $\boldsymbol{E}_{\text{пр.}} = \boldsymbol{E_1} = \boldsymbol{E_2} = 2{,}1 \cdot 10^5$ МПа; $\boldsymbol{T_2}$ – вращающий момент на тихоходном валу передачи; **u** – передаточное число, безразм.; $\boldsymbol{k_{H\beta}}$ – коэффициент неравномерности распределения нагрузки по длине зуба, $\boldsymbol{k_{H\beta}} = 1{,}05 \ldots 1{,}15$; $\boldsymbol{\vartheta_H}$ – коэффициент, учитывающий понижение прочности конической зубчатой передачи по сравнению с цилиндрической передачей, $\boldsymbol{\vartheta_H} = 0{,}85$; $[\boldsymbol{\sigma_H}]$ – допускаемое контактное напряжение для материала

зубчатого колеса; $\boldsymbol{K_{be}}$ – коэффициент ширины зубчатого колеса (отношение ширины зубчатого венца к внешнему конусному расстоянию) $\boldsymbol{K_{be}} = 0{,}285$.

2. Внешнее конусное расстояние конической передачи $\boldsymbol{R_e} = \frac{0{,}5 \cdot d_{e2} \cdot \sqrt{u^2+1}}{u}$, мм.

3. Ширина зубчатого венца $\boldsymbol{b} = K_{be} \cdot R_e$, мм.

4. Угол делительного конуса колеса $\boldsymbol{\delta_2} = arctg(u)$.

5. Угол делительного конуса шестерни $\boldsymbol{\delta_1} = 90° - \delta_2$.

6. Делительный диаметр на внешнем конусе шестерни $\boldsymbol{d_{e1}} = \frac{d_{e2}}{u}$, мм.

7. Уточняем значение передаточного числа, определив его фактическое значение $\boldsymbol{u}_{\text{ф}} = \frac{d_{e2}}{d_{e1}}$.

8. Делительный диаметр шестерни в среднем сечении (расчетный) $\boldsymbol{d_{m1}} = d_{e1} \cdot (1 - 0{,}5 \cdot K_{be})$, мм.

9. Предварительное число зубьев шестерни Z_1' устанавливаем по источнику [7], зная параметры $\boldsymbol{d_{e1}}$, мм и $\boldsymbol{u}$: $\boldsymbol{Z_1'}$.

10. Окончательно число зубьев шестерни $\boldsymbol{Z_1} = 1{,}6 \cdot Z_1'$.

Округлим параметр Z_1 до целого числа.

11. Средний торцовый модуль $\boldsymbol{m_{tm}} = \frac{d_{m1}}{Z_1}$.

12. Внешний нормальный и внешний торцовый модули $\boldsymbol{m_{ne}} = \boldsymbol{m_{te}} = \frac{d_{e1}}{Z_1}$.

13. Число зубьев колеса $\boldsymbol{Z_2} = Z_1 \cdot u$.

Примем целое число зубьев $\boldsymbol{Z_2}$.

14. Средние делительные диаметры шестерни и колеса $\boldsymbol{d_{m1}} = m_{tm} \cdot Z_1$, $\boldsymbol{d_{m2}} = m_{tm} \cdot Z_2$.

15. Внешние делительные диаметры для шестерни и зубчатого колеса конической передачи $\boldsymbol{d_{e1}} = m_{te} \cdot Z_1$, $\boldsymbol{d_{e2}} = m_{te} \cdot Z_2$.

16. Определим диаметры окружности вершин зубьев для шестерни и зубчатого колеса конической передачи $\boldsymbol{d_{ae1}} = d_{e1} + 2 \cdot m_{te} \cdot \cos(\delta_1)$, $\boldsymbol{d_{ae2}} = d_{e2} + 2 \cdot m_{te} \cdot \cos(\delta_2)$.

Вопросы и задания для самостоятельной работы

1. От каких факторов зависит числовое значение делительного диаметра на внешнем конусе колеса для конической передачи?

2. Дополните фразу: «Внешнее конусное расстояние конической передачи является функцией … параметров».

3. От каких параметров зависит значение ширины зубчатого венца для конической передачи?

4. Как определить угол делительного конуса зубчатого колеса конической передачи?

5. Чему равен угол делительного конуса шестерни конической передачи?

6. По какой формуле устанавливают делительный диаметр на внешнем конусе колеса для конической передачи?

7. По каким параметрам устанавливают примерное число зубьев конической шестерни?

8. Запишите формулу для определения расчетного делительного диаметра шестерни в среднем сечении (для конической передачи).

9. Как установить значение среднего торцового модуля для конической передачи?

10. Чему равны внешний нормальный и внешний торцовый модули для конической передачи?

16. Практическое занятие № 16 на тему: «Расчет червячной передачи».

Цель занятия

Формирование навыков в определении геометрических параметров червячной передачи.

Задание

Определить геометрические параметры червячной зубчато-винтовой передачи, если известен вращающий момент $\boldsymbol{T_2}$, Н·мм на тихоходном валу передачи, отношение $\frac{q}{z_2}$, характеристики материала червяка или червячного колеса $\boldsymbol{E}_{\text{пр}}$ и $[\boldsymbol{\sigma_H}]$, передаточное число $\boldsymbol{u}$.

Этапы выполнения задания

1. Установить межосевое расстояние;
2. Выполнить расчет модуля;
3. Определить число заходов червяка и число зубьев червячного колеса.

Формулы, применяемые для расчета.

1. Межосевое расстояние червячной передачи

$$\boldsymbol{a} = 0{,}625 \cdot \left(\frac{q}{Z_2} + 1\right) \cdot \sqrt[3]{\frac{E_{\text{пр.}} \cdot T_2}{[\sigma_H]^2 \cdot \frac{q}{Z^2}}},$$

где $\boldsymbol{E}_{\text{пр.}}$ – приведенный модуль упругости материалов шестерни и колеса, для стали (червяка) и бронзы, чугуна (червячное колесо): $\boldsymbol{E}_{\text{пр.}} = \frac{2 \cdot E_1 \cdot E_2}{E_1 + E_2}$, МПа; $\boldsymbol{T_2}$ – вращающий момент на тихоходном валу передачи, $\mathbf{T_2}$, Н·мм; $[\boldsymbol{\sigma_H}]$ – допускаемое контактное напряжение для материала червячного колеса, МПа; $\frac{\boldsymbol{q}}{\boldsymbol{z_2}}$ – отношение коэффициента диаметра червяка к числу зубьев на червячном колесе, безразм.

2. Определить число заходов червяка в зависимости от передаточного числа по таблице 5.

Таблица 5 – К определению числа заходов червяка $\boldsymbol{Z_1}$

Передаточное число $\boldsymbol{u}$	От 8 до 14	От 14 до 30	Свыше 30
Число заходов червяка $\boldsymbol{Z_1}$	4	2	1

3. Число зубьев червячного колеса $\boldsymbol{Z_2} = Z_1 \cdot u$.

Тогда коэффициент диаметра червяка составит $\boldsymbol{q} = 0{,}25 \cdot Z_2$.

Выбрать значение коэффициента диаметра червяка $\boldsymbol{q}$ из ряда: 8; 10; 12,5; 16; 20.

3. Оценить значение модуля по формуле $\boldsymbol{m} = \frac{2 \cdot a}{q + Z_2}$, мм.

Окончательно полученный модуль принять по стандартному ряду: 1,0; 1,25; 1,5; 2,0; 2,5; 3,15; 4; 5; 6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25… [8].

4. Коэффициент смещения $\boldsymbol{X} = \frac{a}{m} - 0{,}5 \cdot (q + Z_2)$.

5. Установить делительные диаметры червяка и червячного колеса $\boldsymbol{d_1} = q \cdot m$, мм; $\boldsymbol{d_2} = m \cdot Z_2$, мм.

6. Диаметры окружности вершин заходов червяка и зубьев червячного колеса $\boldsymbol{d_{a1}} = m \cdot (q + 2)$, мм; $\boldsymbol{d_{a2}} = m \cdot (Z_2 + 2 + 2 \cdot X)$, мм.

7. Диаметры окружности впадин заходов червяка и зубьев червячного колеса $\boldsymbol{d_{f1}} = m \cdot (q - 2{,}4)$, мм; $\boldsymbol{d_{f2}} = m \cdot (Z_2 - 2{,}4 - 2 \cdot X)$, мм.

8. Наибольший диаметр червячного колеса

$$\boldsymbol{d_{aM2}} \leq d_{a2} + \frac{6 \cdot m}{(Z_1 + k)},$$

где параметр $\boldsymbol{k} = 2$ для передач с эвольвентным червяком.

Вопросы и задания для самостоятельной работы

1. От каких факторов зависит числовое значение межосевого расстояния для червячной передачи?

2. Каким образом устанавливают модуль зацепления для червячной передачи?

3. Дополните фразу: «Коэффициент смещения X является функцией … параметров».

4. Как определить делительный диаметр червяка в червячной передаче?

5. Чему равен делительный диаметр червячного колеса в червячной передаче?

6. По какой формуле устанавливают диаметр окружности вершин заходов червяка?

7. Как определить диаметр окружности вершин зубьев червячного колеса?

8. Запишите формулу для определения диаметра окружности впадин червяка.

9. Каким образом расположены продольные оси валов в червячной передаче?

10. Запишите формулу для определения диаметра окружности впадин червячного колеса.

17. Практическое занятие № 17 на тему: «Расчет ременной передачи».

Цель занятия

Формирование навыков в определении геометрических параметров ременной передачи.

Задание

Рассчитать ременную передачу с гибким элементом плоского поперечного сечения. Эта передача установлена в системе привода от электродвигателя к ленточному транспортеру, предназначенному для перемещения упакованных штучных пищевых продуктов. Параметры быстроходного вала привода: $\boldsymbol{P_1}$, кВт, $\boldsymbol{n_1}$, об/мин, передаточное число $\boldsymbol{u}$. Натяжение ремня периодическое, желательны малые габариты.

Этапы выполнения задания

1. Определить диаметры ведущего и ведомого шкивов;
2. Установить межосевое расстояние и длину ремня;
3. Определить фактическое передаточное число.

Формулы, применяемые при расчете:

1. Вращающий момент на быстроходном валу $\boldsymbol{T_1} = \frac{P_1}{\omega_1} = \frac{30 \cdot P_1}{\pi \cdot n_1}$,

где $\boldsymbol{P_1}$ – мощность на быстроходном валу передачи, Вт; $\boldsymbol{\omega_1}$ – угловая скорость быстроходного вала, рад/с.

2. Диаметр ведущего шкива

$$\boldsymbol{D_1} = (52 \dots 64) \cdot \sqrt[3]{T_1}$$

Числовое $\boldsymbol{D_1}$ значение принять по стандартному ряду: 40, 45, 50, 56, 63, 71, 80, 90, 100, 112, 125, 140, 160, 180, 200, 224, 250, 280, 315, 355, 400, 450, 500, 560, 630, 710, 800, 900, 1000.

3. Скорость ремня

$$\boldsymbol{v} = \frac{\pi \cdot D_1 \cdot n_1}{60 \cdot 10^3} \leq [v],$$

где $\boldsymbol{n_1}$ – частота вращения ведущего шкива, об/мин; $\boldsymbol{D_1}$ – диаметр ведущего шкива, взятый в расчет в миллиметрах; $[\boldsymbol{v}]$ – допускаемая скорость ремня, м/с; $[v] = 30$ м/с.

4. Диаметр ведомого шкива

$$\boldsymbol{D_2} = D_1 \cdot u \cdot (1 - \varepsilon),$$

где $\boldsymbol{u}$ – передаточное число; $\boldsymbol{\varepsilon}$ – коэффициент скольжения, $\boldsymbol{\varepsilon}$ = 0,01 … 0,02.

Полученное значение $\boldsymbol{D_2}$ принимаем по стандартному ряду (см. ряд, приведенный выше).

5. Фактическое передаточное число $\boldsymbol{u} = \frac{D_2}{D_1 \cdot (1-\varepsilon)}$.

6. Отклонение передаточного числа от заданного значения

$\Delta \boldsymbol{u} = \frac{(u_ф - u)}{u} \cdot 100\% \leq 5\ \%$.

7. Межосевое расстояние $\boldsymbol{a} \geq 1{,}5 \cdot (D_1 + D_2)$.

8. Расчетная длина ремня $\boldsymbol{L}_р = 2 \cdot a + \frac{\pi \cdot (D_1 + D_2)}{2} + \frac{0{,}25 \cdot (D_2 - D_1)^2}{a}$.

Вопросы и задания для самостоятельной работы

1. От какого параметра зависит числовое значение диаметра ведущего шкива ременной передачи?

2. Каким образом устанавливают диаметр ведомого шкива ременной передачи?

3. Как определить расчетную длину ремня?

4. Дополните фразу: «Уточненное значение межосевого расстояния ременной передачи является функцией … параметров».

5. Каким образом расположены продольные оси валов в ременной передаче?

18. Практическое занятие № 18 на тему: «Расчет цепной передачи».

Цель занятия

Формирование навыков в определении геометрических параметров цепной передачи.

Задание

Рассчитать цепную передачу, расположенную в приводе после цилиндрического редуктора. Эта передача установлена в системе привода от электродвигателя к ленточному транспортеру, предназначенному для перемещения упакованных штучных пищевых продуктов. Параметры промежуточного вала привода: $\boldsymbol{P}_{пр}$, кВт, $\boldsymbol{n}_{пр}$, об/мин, передаточное число $\boldsymbol{u}$. Линия центров передачи расположена под углом $\boldsymbol{\theta}$ к горизонту, передача открытая, работает в пыльном помещении в одну смену (работа спокойная). Цепная передача регулируется передвижением вала ведущей звездочки, цепь передачи – роликовая однорядная, смазка периодическая.

Этапы выполнения задания

1. Определить числа зубьев звездочек;

2. Установить шаг цепи, оценить пригодность выбранной цепи;

3. Определить диаметры ведущей и ведомой звездочки.

Формулы, применяемые при расчете:

1. Минимальное число зубьев ведущей звездочки $\boldsymbol{Z_{1min}} = 29 - 2 \cdot u$.

2. Определим число зубьев ведомой звездочки $\boldsymbol{Z_2} = u \cdot Z_1$.

3. Вращающий момент на валу ведущей звездочки, являющемся промежуточным валом привода

$$\boldsymbol{T}_{\text{пр}} = \frac{P_{\text{пр}}}{\omega_{\text{пр}}} = \frac{30 \cdot P_{\text{пр}}}{\pi \cdot n_{\text{пр}}},$$

где $\boldsymbol{P}_{\text{пр}}$ – мощность на промежуточном валу передачи, Вт; $\boldsymbol{\omega}_{\text{пр}}$ – угловая скорость промежуточного вала, рад/с.

4. Шаг цепи $\boldsymbol{t}$

$$\boldsymbol{t} \geq 28 \cdot \sqrt[3]{\frac{K_{\text{Э}} \cdot T_{\text{пр}}}{K_{\text{т}} \cdot Z_1 \cdot [p_{\text{ц}}]}},$$

где $\boldsymbol{K}_{\text{Э}}$ – коэффициент эксплуатации; $\boldsymbol{K}_{\text{т}}$ – коэффициент, учитывающий число рядов цепи ($K_{\text{т}} = 1{,}0$ – однорядная цепь; $K_{\text{т}} = 1{,}7$ – двухрядная цепь); $\boldsymbol{T}_{\text{пр}}$ – вращающий момент на промежуточном валу ведущей звездочки; $\boldsymbol{Z_1}$ – число зубьев ведущей звездочки; $[\boldsymbol{p}_{\text{ц}}]$ – допускаемое давление в шарнирах цепи, Н/мм^2.

Коэффициент эксплуатации цепной передачи

$$\boldsymbol{K}_{\text{Э}} = K_{\text{д}} \cdot K_{\boldsymbol{\theta}} \cdot K_{\text{р}} \cdot K_{\text{с}},$$

где $\boldsymbol{K}_{\text{д}}$ – коэффициент динамичности ($\boldsymbol{K}_{\text{д}} = 1$ – при спокойной нагрузке; $\boldsymbol{K}_{\text{д}} = 1{,}5$ – при переменной нагрузке с толчками); $\boldsymbol{K}_{\boldsymbol{\theta}}$ – коэффициент наклона линии центров звездочек к горизонту ($\boldsymbol{K}_{\boldsymbol{\theta}} = 1$ – при $\boldsymbol{\theta} \leq 60°$; $\boldsymbol{K}_{\boldsymbol{\theta}} = 1{,}25$ – при $\boldsymbol{\theta} > 60°$); $\boldsymbol{K}_{\text{р}}$ – коэффициент регулировки межосевого расстояния ($\boldsymbol{K}_{\text{р}} = 1{,}1$ – передача с передвигающимися осями (валами); $\boldsymbol{K}_{\text{р}} = 1$ – передача с нажимными звездочками; $\boldsymbol{K}_{\text{р}} = 1{,}25$ – передача с нерегулируемым межосевым расстоянием); $\boldsymbol{K}_{\text{с}}$ – коэффициент, зависящий от способа смазывания ($\boldsymbol{K}_{\text{с}} = 0{,}8$ – непрерывное смазывание; $\boldsymbol{K}_{\text{с}} = 1{,}0$ – внутришарнирное и капельное смазывание; $\boldsymbol{K}_{\text{с}} = 1{,}5$ – смазывание периодическое).

Значение допускаемого давления в шарнирах цепи примем по таблицам [1 – 9], проводя интерполирование: $[\boldsymbol{p}_{\text{ц}}]$, Н/мм^2.

Подбираем по ГОСТ 13568 «Цепи приводные роликовые и втулочные» типоразмер цепи ПРА-25,4-6000, у которой стандартное значение шага цепи $\boldsymbol{t}$, мм. Для выбранной цепи выписываем значение площади опорной поверхности шарнира однорядной цепи $\boldsymbol{A}_{\text{оп}}$, мм^2.

5. Уточним допускаемое давление в шарнирах цепи.

6. Делительный диаметр ведущей звездочки $\boldsymbol{d}_{\boldsymbol{1}\text{д}} = \frac{t}{\sin\left(\frac{180^\circ}{Z_1}\right)}$.

7. Окружная сила, действующая в передаче [3]

$$\boldsymbol{F_t} = \frac{2 \cdot T_{\text{пр}} \cdot 10^3}{d_{1\text{д}}}.$$

8. Изнашиваемость шарниров цепи установить по неравенству

$$\boldsymbol{p}_{\text{ц}} = \frac{F_t \cdot K_{\text{Э}}}{A_{\text{оп}} \cdot K_{\text{т}}} \leq [p_{\text{ц}}].$$

Если условие выполнено: $\boldsymbol{p}_{\text{ц}} \leq [\boldsymbol{p}_{\text{ц}}]$, то выбранная цепь с шагом $\boldsymbol{t}$, мм пригодна.

Вопросы и задания для самостоятельной работы

1. От какого параметра зависит числовое значение диаметра ведущей звездочки цепной передачи?

2. Каким образом устанавливают диаметр ведомой звездочки цепной передачи?

3. Дополните фразу: «Уточненное значение межосевого расстояния цепной передачи является функцией … параметров».

4. Сформулируйте последовательность действий при определении значения шага цепи.

5. Каким образом расположены продольные оси валов в цепной передаче?

19. Практическое занятие № 19 на тему: «Конструирование тихоходного вала. Подбор подшипников».

Цель занятия

Формирование навыков в определении геометрии тихоходного вала передачи и подбора подшипников по ГОСТ 8338.

Задание

Определить геометрические параметры тихоходного вала одноступенчатого цилиндрического редуктора, если известен вращающий момент $\boldsymbol{T_2}$, Н·м на тихоходном валу передачи, числа зубьев шестерни $\boldsymbol{Z_1}$ и колеса $\boldsymbol{Z_2}$, модуль зубчатого зацепления $\boldsymbol{m}$. Подобрать шариковый радиальный однорядный подшипник по ГОСТ 8338.

Этапы выполнения задания

1. Выполнить конструирование тихоходного вала;
2. Определить диаметров участков вала;
3. Осуществить поиск длин участков тихоходного вала.

Формулы, применяемые при расчете:

1. Диаметр выходного (самого тонкого) конца тихоходного вала

$$\boldsymbol{d}_{\text{вых}} \geq (5 \ldots 6) \cdot \sqrt[3]{T_2},$$

где $\boldsymbol{T_2}$ – вращающий момент на тихоходном валу передачи, Н·м.

Выбирать стандартное значение $\boldsymbol{d}_{\text{вых}}$ из предложенного ряда по ГОСТ 6636: 20, 21, 22, 24, 25, 26, 28, 30, 32, **34**, 36, 38, 40, 42, 45, 48, 50, 53, 56, 60, 63, 67, 71, 75, 80, 85, 90, 95, 100 …

2. Диаметр вала под подшипник

$$\boldsymbol{d}_{\text{П}} \geq d_{\text{вых}} + 2 \cdot t_{\text{цил}},$$

где $\boldsymbol{t}_{\text{цил}}$ – высота заплечика, параметр, зависящий от значения диаметра $\boldsymbol{d}_{\text{вых}}$, мм.

Значения $\boldsymbol{t}_{\text{цил}}$ принимают из таблицы 6.

Таблица 6 – Параметры тихоходного вала, зависящие от диаметра $d_{вых}$

$\boldsymbol{d}_{вых}$	17..22	24..30	32..38	40..44	45..50	52..58	60..65	67..75	80..85
$\boldsymbol{t}_{цил}$	3	3,5	3,5	3,5	4	4,5	4,6	5,1	5,6
$\boldsymbol{r}$	1,5	2	2,5	2,5	3	3	3,5	3,5	2,7
$\boldsymbol{f}$	1	1	1,2	1,2	1,6	2	2	2,5	2,5

Округлим полученное значение диаметра $d_П$ до числа кратного 5.

3. Выполнить подбор пары подшипников качения для тихоходного вала. Для числового значения диаметра вала под подшипник $\boldsymbol{d}_П$ мм подобрать шариковый радиальный однорядный подшипник по ГОСТ 8338.

Используя ГОСТ 8338, выбирать подшипник, например, легкой серии диаметров 2, узкой серии ширин 0 с условным обозначением 209 для диаметра $\boldsymbol{d} = \boldsymbol{d}_П = 45$ мм. Выписываем для подшипника условное обозначение **209**, далее внешний диаметр подшипника $\boldsymbol{D}$ = 85 мм и ширину подшипника $\boldsymbol{B}$ = 19 мм. Упомянутые геометрические параметры $\boldsymbol{D}$ и $\boldsymbol{B}$ подшипника применяются для построения эскиза тихоходного вала передачи (рисунок 19.1).

Легкая серия диаметров 2, узкая серия ширин 0

Размеры, мм

Обозначение подшипников	*d*	*D*	*B*	*r*	Масса, кг ≈
23	3	10	4	0,3	0,0015
24	4	13	5	0,4	0,0032
25	5	16		0,5	0,0047
26	6	19	6		0,0080
27	7	22	7		0,0123
28К	8	24	8		0,019
29	9	26		1,0	0,020
200	10	30	9		0,031
201	12	32	10		0,037
202	15	35	11		0,046
203	17	40	12		0,073
204	20	47	14	1,5	0,108
205	25	52	15		0,129
206	30	62	16		0,200
207	35	72	17	2,0	0,284
208	40	80	18		0,349
209	45	85	19		0,404

Рисунок 19.1 – Таблица, заимствованная из ГОСТ 8338, для подбора шарикового радиального подшипника

3. Диаметр вала под зубчатое колесо

$$\boldsymbol{d}_к \geq d_П + 3 \cdot r,$$

где $\boldsymbol{r}$ – параметр, взятый из таблицы 19.1, мм.

Выбирать стандартное значение $\boldsymbol{d}_{\text{к}}$ из предложенного ряда по ГОСТ 6636: 20, 21, 22, 24, 25, 26, 28, 30, 32, 34, 36, 38, 40, 42, 45, 48, 50, **53**, 56, 60, 63, 67, 71, 75, 80, 85, 90, 95, 100 …

4. Определить длины участков вала

$\boldsymbol{l}_{\text{МТ}} = 1{,}5 \cdot d_{\text{вых}}$, мм;

$\boldsymbol{l}_{\text{КТ}} = 1{,}2 \cdot d_{\text{П}}$, мм.

5. Длина участка вала под зубчатое колесо

$$\boldsymbol{l}_{\text{ВК}} = l_{\text{ст}} + 2 \cdot K,$$

где $\boldsymbol{l}_{\text{ст}}$ – длина ступицы колеса, мм; $\boldsymbol{K}$ – расстояние между внутренней поверхностью стенки корпуса редуктора и торцом ступицы колеса.

Длина ступицы колеса

$$\boldsymbol{l}_{\text{ст}} = (1{,}1 \ldots 1{,}5) \cdot d_{\text{к}}, \text{ мм.}$$

Параметр $\boldsymbol{K}$

$$\boldsymbol{K} = \sqrt[3]{L} + 3,$$

где $\boldsymbol{L}$ – габарит одноступенчатой цилиндрической зубчатой передачи.

Применительно к одноступенчатой цилиндрической зубчатой передаче формула для определения габарита $\boldsymbol{L}$ имеет вид

$$\boldsymbol{L} = d_1 + d_2 + 2 \cdot h_a = m \cdot (Z_1 + Z_2 + 2), \text{ мм.}$$

Длина участка вала под зубчатое колесо

$$\boldsymbol{l}_{\text{ВК}} = l_{\text{ст}} + 2 \cdot K, \text{ мм.}$$

Вопросы и задания для самостоятельной работы

1. Укажите соотношение для определения диаметра выходного конца тихоходного вала.

2. Как установить диаметр вала под подшипник?

3. От каких параметров зависит диаметр вала под зубчатое колесо?

4. Запишите соотношения для определения длин участков вала $\boldsymbol{l}_{\text{МТ}}$ и $\boldsymbol{l}_{\text{КТ}}$.

5. Поясните, от каких параметров зависит длина участка вала под зубчатое колесо.

6. Изобразите эскизно тихоходный вал цилиндрического редуктора.

7. Значения каких геометрических параметров тихоходного вала принимаются по стандартному ряду?

8. Покажите на эскизе тихоходного вала участок, на котором размещается зубчатое колесо.

9. Покажите на эскизе тихоходного вала участки, где устанавливаются опоры (подшипники) вала.

10. Покажите на эскизе тихоходного вала участок, на котором размещается муфта, соединяющая этот вал с валом рабочего органа?

20. Практическое занятие № 20 на тему: «Расчет тихоходного вала с определением сил, действующих в его опорах».

Цель занятия

Формирование навыков в определении значений нагрузок на тихоходный вал передачи, умений выполнять переход от конструкции вала к его расчетным схемам.

Задание

Представить тихоходный вал цилиндрического редуктора в виде шарнирно-опертой балки с активными силами, приложенными перпендикулярно ее продольной оси. Определить реакции связей, возникающие в опорах. Построить эпюры поперечных сил, изгибающих моментов, эпюру крутящего момента.

При решении задачи по практическому занятию № 20 числовые значения вращающего момента $\boldsymbol{T_2}$, Н·м, числа зубьев колеса $\boldsymbol{Z_2}$, а также модуля $\boldsymbol{m}$, мм, принимаются по вариантам из практического занятия № 19.

Дополнительные параметры:

делительный диаметр зубчатого колеса $\boldsymbol{d_2}$, мм; угол давления в передаче $\boldsymbol{\alpha}$ = 20° – передача прямозубая; окружная сила, действующая в зубчатом зацеплении $\boldsymbol{F_1}$, Н; радиальная сила, действующая в зубчатом зацеплении $\boldsymbol{F}$, Н; сила, учитывающая влияние муфты $\boldsymbol{F_2}$, Н.

Этапы выполнения задания

1. Составить расчетные схемы тихоходного вала;

2. Определить длины участков расчетной схемы и активные силы, действующие на вал (см. практическое занятие № 4);

3. Установить силы, действующие в опорах вала, построить эпюры внутренних силовых факторов.

Вопросы и задания для самостоятельной работы

1. Составьте расчетную схему тихоходного вала, на котором размещено косозубое цилиндрическое зубчатое колесо.

2. Изобразите расчетную схему тихоходного вала, на котором насажено коническое зубчатое колесо.

3. Составьте расчетную схему тихоходного вала с червячным колесом, размещенным на этом валу.

4. Изобразите расчетную схему тихоходного вала, на котором насажен ведомый шкив.

5. Составьте расчетную схему тихоходного вала с ведомой звездочкой, размещенной на этом валу.

6. Изобразите расчетную схему промежуточного вала, на котором размещены коническое и косозубое цилиндрическое зубчатые колеса.

7. Как определить окружную силу, действующую в зубчатом зацеплении?

8. Дана цилиндрическая зубчатая передача (косозубая). Запишите формулы для определения радиальной и осевой сил, действующих в зацеплении этой передачи.

9. Сформулируйте этапы перехода от эскиза тихоходного вала к его расчетным схемам.

10. Запишите правило знаков при изгибе для поперечной силы и изгибающего момента.

21. Практическое занятие № 21 на тему: «Расчет тихоходного вала на усталостную и статическую прочность».

Цель занятия

Формирование навыков основного и проверочного расчетов тихоходного вала.

Задание

Выполнить расчет опасного сечения тихоходного вала передачи на усталостную и статическую прочность. Исходными данными в предлагаемой задаче являются параметры, установленные в процессе решения заданий из практических занятий № 19 и 20, а именно:

1) максимальное значение изгибающего момента, выбранное из двух значений $\boldsymbol{M_1}$ и $\boldsymbol{M_2}$ (см. практическое занятие № 20);

2) значение вращающего момента на тихоходном валу $\boldsymbol{T_2}$ Н·м (задано по вариантам в практическом занятии № 19);

3) диаметр вала в опасном сечении $\boldsymbol{d}$ (это значение получено в процессе расчета на практическом занятии № 20);

4) марка материала тихоходного вала (задается преподавателем дополнительно).

Для решения задания по практическому занятию № 21 необходимо выполнить полностью расчеты по заданиям, полученным на занятиях № 19 и 20.

Этапы выполнения задания

1. Установить расчетные значения коэффициентов запаса прочности;

2. Назначить допускаемые значения коэффициентов запаса прочности;

3. Составить заключение о выполнении или нарушении условий прочности тихоходного вала.

Вопросы и задания для самостоятельной работы

1. Для марки стали **20Х** определите параметр $\boldsymbol{\sigma_T}$.

2. Для марки стали **45** установите значение параметра $\boldsymbol{\sigma_{-1}}$.

3. Чему равен коэффициент $\boldsymbol{k_d}$, учитывающий влияние абсолютных размеров поперечного сечения? Известно, что диаметр вала равен 50 мм, рассматривается изгиб углеродистой стали.

4. Чему равен коэффициент $\boldsymbol{k_d}$, учитывающий влияние абсолютных размеров поперечного сечения? Известно, что диаметр вала равен 100 мм, рассматривается изгиб легированной стали.

5. На валу имеется шпоночный паз, предназначенный для соединения вала с зубчатым колесом. Параметр $\boldsymbol{\sigma_b} = 700$ МПа. Установить значения коэффициентов концентрации напряжений при изгибе и кручении.

6. Запишите формулу для определения расчетного значения коэффициента запаса усталостной прочности. Поясните названия параметров, входящих в эту формулу.

7. Сформулируйте условие статической прочности вала. Поясните названия параметров, входящих в это условие.

2.3 Рекомендации по выполнению самостоятельной работы студентов при выполнении практических заданий

Перед каждым практическим занятием студенту следует ознакомиться с темой и целью этого занятия. Для успешной аттестации необходимо посетить практическое занятие. Обучающимся следует записать примеры решения задач, разбираемые на занятии.

Самостоятельная работа студентов заключается в выполнении сформированных заданий для самостоятельной работы, подготовке ответов на вопросы, а также выполнении аналогичного задания по соответствующему варианту, выданному преподавателем. При выполнении самостоятельной работы следует фиксировать непонятные моменты на полях в тетради и формулировать вопросы, ответы на которые преподаватель даст во время консультаций.

Практические занятия представляют собой форму контактной работы с преподавателем и являются компонентом образовательной программы. Поэтому для успешного прохождения текущей аттестации эти занятия рекомендованы студентам к регулярному посещению.

По учебному плану у студентов заочной формы обучения запланированы четыре практических занятия в третьем семестре (ПЗ № 1, 2, 3 и 7) и два занятия в четвертом семестре (ПЗ № 14 и 15). Ознакомление с другими практическими занятиями выполняется по материалам соответствующего учебно-методического пособия, а также по видео и презентациям, размещенным в электронной информационно-образовательной среде (ЭИОС).

3 ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ

3.1 Тематический план лабораторных занятий

Сформирован тематический план лабораторных занятий в четвертом (весеннем) семестре. Такие занятия проводятся в специализированной аудитории 308д, оснащенной необходимым лабораторным оборудованием. В таблице 7 приведен тематический план лабораторных занятий по дисциплине «Техническая механика».

Таблица 7 – План лабораторных занятий в четвертом семестре

Номер темы лекционного занятия	Тема лабораторного занятия
Тема 2	Структурный анализ плоских механизмов.
Темы 16, 17, 18 и 19	Расчет шнека мясорубки ручного типа. Методы нарезания зубьев.
Тема 16	Редуктор цилиндрический. Определение геометрических параметров.
Тема 17	Редуктор конический. Определение геометрических параметров.
Тема 18	Редуктор червячный. Определение геометрических параметров.
Тема 20	Подшипники качения. Маркировка.
Тема 22	Ременная передача. Определение основных параметров.

3.2 Рекомендации по выполнению самостоятельной работы студентов при подготовке к защите лабораторных работ

Студенты выполняют лабораторную работу непосредственно на занятии, в конце которого оформляют отчет по ней и делают выводы. В учебно-методическом пособии по выполнению лабораторных работ для каждой такой работы приведен список контрольных вопросов. Студент имеет право защитить лабораторную работу с оформленным отчетом по ней, ответив на контрольные вопросы в конце лабораторного занятия, на консультации по дисциплине либо по завершении семестра. Студенты, защитившие все выполненные лабораторные работы, допускаются к промежуточной аттестации.

Самостоятельная работа студентов заключается в следующем:

– формирование бланка отчета, осуществляемое в процессе подготовки к лабораторному занятию;

– изображение необходимых схем изучаемых объектов; измерения объектов и их расчет (проводится непосредственно на лабораторном занятии);

– подготовка к защите выполненной лабораторной работы по контрольным вопросам.

Лабораторные занятия представляют собой форму контактной работы с преподавателем и являются компонентом образовательной программы. Поэтому для успешного прохождения текущей и промежуточной аттестации эти занятия рекомендованы студентам к регулярному посещению. Кроме того, присутствие студента на названных занятиях способствует формированию прочных знаний об изучаемых объектах, предопределяет практическую подготовленность к последующему изучению дисциплин технической направленности.

Студенты заочной формы обучения выполняют лабораторные работы в аудитории 308д главного учебного корпуса с применением действующего оборудования по следующим темам: «Редуктор цилиндрический. Определение геометрических параметров» и «Редуктор червячный. Определение геометрических параметров». Ознакомление с другими лабораторными работами выполняется по материалам соответствующего учебно-методического пособия, а также по видео и презентациям, размещенным в электронной информационно-образовательной среде (ЭИОС).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Батиенокв, В. Т. Техническая механика: учеб. пособие / В. Т. Батиенков, В. А. Волосухин, С. И. Евтушенко [и др.]. – Москва: РИОР: ИНФРА-М, – 2011. – 379 с.

2. Техническая механика / под ред. Д. В. Чернилевский: в 4 томах. Кн. 1. Теоретическая механика. – Москва: Машиностроение. – 2012. – 128 с.

3. Техническая механика / под ред. Д. В. Чернилевский: в 4 томах. Кн. 2. Сопротивление материалов. – Москва: Машиностроение. – 2012. – 160 с.

4. Техническая механика / под ред. Д. В. Чернилевский: в 4 томах. Кн. 3. Основы теории механизмов и машин. – Москва: Машиностроение. – 2012. – 104 с.

5. Техническая механика / под ред. Д. В. Чернилевский: в 4 томах. Кн. 4. Детали машин и основы проектирования. – Москва: Машиностроение. – 2012. – 160 с.

6. Мовнин, М. С. Техническая механика / М. С. Мовнин, А. Б. Израелит. – Ленинград: Судостроение, 1971. – Ч. 1. Теоретическая механика. – 344 с.

7. Дунаев, П. Ф. Конструирование узлов и деталей машин: учеб. пособие для техн. спец. вузов / П. Ф. Дунаев, О. П. Леликов. – Москва: Высшая школа, 2001. – 447 с.

8. Середа, Н. А. Теория механизмов и машин: учеб. пособие для студентов, обучающихся в бакалавриате по напр. подгот. 15.03.01 Машиностроение, 15.03.02 – Технологические машины и оборудование / Н. А. Середа. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2020. – 93 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Контрольные вопросы по темам дисциплины

1. Классификация цилиндрических зубчатых передач.
2. Основные геометрические параметры цилиндрической передачи.
3. Расчет на контактную и изгибную прочность для цилиндрической передачи.
4. Методы изготовления цилиндрических зубчатых колес.
5. Классификация конических зубчатых передач.
6. Основные геометрические параметры конических передач.
7. Расчет на контактную и изгибную прочность для конической передачи.
8. Методы изготовления конических зубчатых колес.
9. Классификация червячных передач. Передаточное отношение и КПД.
10. Геометрические параметры червячной передачи.
11. Расчет на контактную и изгибную прочность.
12. Методы изготовления червяка и червячного колеса.
13. Вал и ось, классификация. Приближенный расчет вала.
14. Конструирование вала. Расчет вала на прочность и жесткость.
15. Подшипники скольжения и качения. Выбор подшипников качения, маркировка.
16. Назначение и классификация муфт.
17. Ременная передача. Геометрические параметры передачи.
18. Расчета ременной передачи. Критерии работоспособности.
19. Цепная передача. Основные параметры передачи.
20. Расчета цепной передачи. Критерии работоспособности.
21. Структура плоских механизмов.
22. Многозвенные зубчатые механизмы с неподвижными осями колес. Планетарные механизмы.
23. Приводы технологических машин.
24. Резьбовые соединения. Расчет резьбовых соединений.
25. Шпоночные и шлицевые соединения. Методика подбора шпонок.
26. Продольные силы при растяжении, сжатии. Построение эпюр продольных сил.
27. Расчеты на прочность при растяжении, сжатии.
28. Эпюры крутящих моментов. Расчеты на прочность и жесткость при кручении.
29. Изгиб и его виды. Продольные силы и изгибающие моменты. Правило знаков при изгибе.
30. Типовые случаи нагружения балок при изгибе.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Критерии и нормы оценки промежуточной аттестации в виде экзамена

В таблице П.1 приведены критерии оценивания, используемые в процессе промежуточной аттестации в виде экзамена. Ответ на теоретический вопрос и решение практического задания оценивается в баллах.

Таблица П.1 – Критерии оценивания ответов на экзамене

№ п/п	Критерии	Балл
1	*2*	*3*
1	*Развернутость ответа на вопрос:*	
	– при ответе на вопрос введены необходимые термины и даны их определения. Сформулированы одно, два предложения. Приведены уместные примеры	3
	– ответ на вопрос не содержит терминов и их определений. В процессе ответа не формируется предложение, дается несколько словосочетаний	2
2	*Правильность ответа на вопрос:*	
	– студент понял вопрос и верно ответил на него;	2
	– студент ошибочно отвечает на вопрос или демонстрирует непонимание вопроса	1
3	*Полнота выполнения практического задания на экзамене:*	
	– студент верно решает практическое задание, имеются необходимые эскизы, иллюстрации, сопровождающие решение	3
	– студент правильно решает 80 % задания, эскизы и иллюстрации выполнены с опиской или ошибкой, не влияющей на правильность такого решения	2
	– студент способен решить 40 % задания и менее. Эскизы и иллюстрации в решении не приводятся	1
	– ответ студента не отличается качественным оформлением	0
4	*Балл от преподавателя:*	
	– наличие в ответах на теоретический вопрос формул, иллюстраций, воспроизводимых без использования конспекта лекций и иных источников	2
	– ответ на теоретический вопрос содержит примеры из смежных предметов, областей знаний	2
	– практическое задание выполнено правильно, и это решение продемонстрировано оригинальным способом.	2

В таблице П.2 представлена шкала перевода баллов, полученных при ответе на экзамене, в привычную систему оценок.

№ п/п	Балл, полученный на экзамене	Оценка за экзамен
1	8 … 10	5 (отлично)
2	6 … 7	4 (хорошо)
3	3 … 5	3 (удовлетворительно)
4	Менее 3	2 (неудовлетворительно)

Локальный электронный методический материал

Наталья Александровна Середа

ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

Редактор Э. С. Круглова

Уч.-изд. л 4,4. Печ. л. 3,9

Издательство федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Калининградский государственный технический университет».
236022, Калининград, Советский проспект, 1