

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



**В. Г. Сукиасов, С. В. Федоров**

## **Детали машин и основы конструирования**

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины для студентов,  
обучающихся в бакалавриате по направлениям подготовки 15.03.01  
Машиностроение, 15.03.02 Технологические машины и оборудование

Калининград  
Издательство КГТУ  
2022

РЕЦЕНЗЕНТ

кандидат технических наук, доцент кафедры теории механизмов и машин и деталей машин ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» Н. А. Серeda

Сукиасов, В. Г., Федоров, С. В.

Детали машин и основы конструирования: учеб.-метод. пособие по изучению дисциплины для студентов бакалавриата по направлениям подготовки 15.03.01 Машиностроение, 15.03.02 Технологические машины и оборудование / В. Г. Сукиасов., С. В. Федоров. – Калининград: ФГБОУ ВО «КГТУ», 2022. – 50 с.

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины подготовлено в соответствии с учебными планами и рабочими программами модулей и предназначено для бакалавров направлений подготовки 15.03.01 Машиностроение, 15.03.02 Технологические машины и оборудование.

Учебно-методическое пособие содержит материалы по изучению дисциплины, включающие тематический план занятий с перечнем ключевых вопросов для каждой лекции, целевой установкой, рекомендуемой литературой, методическими указаниями и вопросами для самоконтроля. Представлены методические указания по самостоятельной работе студентов очной и заочной форм обучения.

Табл. 2, список лит. – 4 наименования

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины «Детали машин и основы конструирования» рекомендовано к изданию в качестве локального электронного методического материала для использования в учебном процессе методической комиссией Института морских технологий, энергетики и строительства 30 июня 2022 г., протокол № 6

УДК 62-2

© Федеральное государственное  
бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Калининградский государственный  
технический университет», 2022 г.  
© Сукиасов В. Г., Федоров С. В., 2022 г.

## Оглавление

Введение .....	4
1 Тематический план лекционных занятий.....	9
2 Методические рекомендации по изучению дисциплины .....	9
Тема 1. Введение. Классификация машин .....	10
Тема 2. Критерии работоспособности деталей .....	11
Тема 3. Зубчатые передачи.....	13
Тема 4. Расчет допускаемых напряжений .....	19
Тема 5. Проверочные расчеты зубчатых передач .....	20
Тема 6. Червячная передача.....	23
Тема 7. Ременная, цепная передачи .....	25
Тема 8. Валы и оси. Подшипники.....	28
Тема 9. Шпоночные соединения. Муфты.....	32
3 Методические указания по самостоятельной работе студентов.....	36
4 Методические указания по самостоятельной работе студентов заочного обучения .....	37
Библиографический список .....	37
Приложение А. Задания и контрольные вопросы к лабораторным работам.....	38
Приложение Б. Образец оформления титульного листа отчета о лабораторных работах ...	42
Приложение В. Типовые задания на курсовой проект .....	43
Приложение Г. Образец оформления титульного листа курсового проекта .....	46
Приложение Д. Экзаменационные вопросы по дисциплине.....	47

## Введение

Дисциплина «Детали машин и основы конструирования» входит в ОПОП ВО по направлениям подготовки 15.03.01 Машиностроение, 15.03.02 Технологические машины и оборудование и изучается студентами очной и заочной форм обучения в пятом семестре.

Целью освоения дисциплины является закрепление, обобщение, углубление и расширение знаний, полученных при изучении базовых дисциплин, приобретение новых знаний и формирование умений и навыков, необходимых для изучения специальных инженерных дисциплин и для последующей инженерной деятельности.

Основные задачи изучения дисциплины:

- освоение общих принципов расчета, обеспечивающих рациональный выбор материалов, форм, размеров и способов изготовления типовых изделий машиностроения;
- формирование навыков конструирования, обеспечивающих рациональный выбор материалов, форм, размеров и способов изготовления типовых изделий машиностроения.

В результате изучения дисциплины студент должен:

- **знать** основные требования работоспособности деталей машин и виды отказов деталей, типовые конструкции деталей и узлов машин, их свойства и области применения, принципы расчета и конструирования деталей и узлов машин;
- **уметь** конструировать узлы машин общего назначения в соответствии с техническим заданием, подбирать справочную литературу, стандарты, а также прототипы конструкций при проектировании, учитывать при конструировании требования прочности, надежности, технологичности, экономичности, стандартизации и унификации, охраны труда, промышленной эстетики, выбирать наиболее подходящие материалы для деталей машин и рационально их использовать, выполнять расчеты типовых деталей и узлов машин, пользуясь справочной литературой и стандартами;
- **владеть** навыками поиска, анализа и обобщения новых конструкторских разработок, методами использования современных технологий изготовления, способностью самостоятельно приобретать и использовать в практической деятельности новые знания и умения.

Дисциплина «Детали машин и основы конструирования» опирается на компетенции, знания, умения и навыки, полученные на предыдущем уровне, при освоении программы бакалавриата, а также дополнительные общепрофессиональные, профессиональные компетенции, полученные при

изучении таких дисциплин как «Математика», «Физика», «Теоретическая механика», «Сопротивление материалов», «Инженерная и компьютерная графика», «Материаловедение», «Технология конструкционных материалов», «Информационные технологии», «Методы научных исследований».

Знания и навыки, полученные при освоении дисциплины «Детали машин и основы конструирования», позволят успешно изучать профессиональные дисциплины «Основы проектирования», «Основы технологии машиностроения», «Подъемно-транспортные и грузозачерпывающие устройства», «Технология машиностроения», «Основы методологии проектирования и конструирования пищевого оборудования», «Технологическое оборудование и оснастка», «Расчёт и конструирование машин и аппаратов пищевых производств», а также могут быть непосредственно использованы в последующей профессиональной деятельности будущего специалиста.

Для оценки результатов освоения дисциплины используются:

- оценочные средства текущего контроля успеваемости;
- оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине.

К оценочным средствам текущего контроля успеваемости относятся:

- индивидуальные задания на курсовой проект (КП);
- тестовые задания по темам дисциплины;
- контрольные вопросы к лабораторным работам.

*Индивидуальные задания на КП* включают 10 схем, для каждой из которых предусмотрено 10 вариантов исходных данных. Выполнение КП является необходимым и ответственным этапом освоения дисциплины. Цель КП состоит в закреплении теоретических знаний, полученных при изучении дисциплины, а также в овладении практическими навыками анализа, расчёта и конструирования деталей, узлов и механизмов. Проект выполняется в течение одного семестра, параллельно с изучением дисциплины. Проектируется привод общего или специального назначения. Разрабатываемая в процессе курсового проектирования документация включает текстовую часть в виде пояснительной записки и графическую часть, содержащую сборочный чертеж редуктора и рабочие чертежи двух его деталей. Ключевые аспекты КП рассматриваются в ходе практических занятий, под руководством преподавателя. Непосредственное выполнение соответствующих этапов индивидуального задания, включая оформление пояснительной записки и графического материала в соответствии с требованиями стандартов, осуществляется в процессе самостоятельной работы студента, с использованием справочных пособий и программного обеспечения.

К защите КП допускаются студенты, выполнившие все предусмотренные индивидуальным заданием этапы, при наличии полного комплекта проектной документации. В процессе защиты КП студенту необходимо уметь объяснить

назначение и принцип действия привода, последовательность разработки проекта, а также подтвердить владение методикой проектирования узлов и деталей машин. Основная цель защиты КП – выявить степень самостоятельности выполнения проекта студентом. По результатам защиты КП выставляется оценка с учетом следующих основных параметров:

- 1) полнота и правильность выполнения проекта;
- 2) соответствие проектной документации требованиям стандартов;
- 3) аккуратность оформления;
- 4) способность квалифицированно отвечать на вопросы по теме проекта;
- 5) соблюдение установленных сроков подготовки проекта.

Оценка «отлично» ставится в случае безоговорочного положительного решения по всем пяти критериям.

Оценка «хорошо» ставится в случае положительного решения по четырем критериям, в том числе обязательно по критериям 1) и 4).

Оценка «удовлетворительно» ставится в случае положительного решения по трем критериям, в том числе обязательно по критерию 1).

*Тестовые задания по отдельным темам* дисциплины используются для текущего контроля освоения дисциплины. Тестирование студентов может проводиться на практических занятиях либо во внеаудиторное время посредством ЭИОС. На каждый тестовый вопрос приведены четыре варианта ответа, включая один правильный. Оценивание осуществляется по следующим критериям: «зачтено» – не менее 70 % правильных ответов на заданные вопросы; «не зачтено» – менее 70 % правильных ответов.

*Контрольные вопросы к лабораторным работам* приведены в учебно-методическом пособии по выполнению лабораторных работ, наряду с формулировкой целей, описанием оборудования, требованиями техники безопасности, порядком выполнения работ и необходимой справочной информацией для каждой работы. Для студентов очной формы обучения предусмотрено выполнение семи лабораторных работ. Студенты заочной формы обучения выполняют три лабораторные работы на выбор преподавателя. К лабораторному практикуму допускаются только студенты, прошедшие вводный инструктаж по технике безопасности.

Выполнение каждой из лабораторных работ предусматривает четкую формулировку цели работы, изучение методических указаний, выполнение измерений и обработку их результатов. По окончании работы студенты предварительно знакомят преподавателя с протоколами замеров и испытаний и получают его согласие на оформление отчета, которое осуществляется во внеаудиторное время. Отчеты о лабораторных работах оформляются в соответствии с требованиями стандартов для текстовых документов.

Контрольные вопросы требуют аргументированных ответов в ходе

защиты отчетов по лабораторным работам. Отчеты принимаются только у студентов, лично участвовавших в выполнении работ. На защите отчетов студентам необходимо продемонстрировать знание общего устройства испытательной установки, понимание существа проведенных измерений и умение интерпретировать полученные результаты. Студенты, защитившие отчеты о всех лабораторных работах, получают оценку «зачтено». Задания и контрольные вопросы к лабораторным работам представлены в Приложении А.

К оценочным средствам для промежуточной аттестации по дисциплине, проводимой в форме экзамена, относятся экзаменационные вопросы.

Экзаменационный билет содержит два вопроса из перечня в Приложении Д по тематике, представленной в тематическом плане лекционных занятий раздела 1.

К экзамену допускаются студенты:

- положительно аттестованные по результатам тестирования на практических занятиях;
- выполнившие и защитившие КП;
- выполнившие и защитившие все лабораторные работы.

Экзаменационная оценка («отлично», «хорошо», «удовлетворительно» или «неудовлетворительно») является экспертной, зависит от уровня освоения студентом учебного материала, наличия и сущности ошибок, допущенных при ответе, и выставляется в соответствии с критериями, указанными в таблице 1.

Таблица 1 – Система и критерии выставления оценки промежуточной аттестации

Система оценок Критерий	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов	Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может научно-корректно связывать между собой (только некоторые из них может связывать между собой)	Обладает минимальным набором знаний, необходимым для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает набором знаний, достаточным для системного взгляда на изучаемый объект	Обладает полной знаниями и системным взглядом на изучаемый объект

Система оценок Критерий	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
Работа с информацией	Не в состоянии находить необходимую информацию, либо в состоянии находить отдельные фрагменты информации в рамках поставленной задачи	Может найти необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, интерпретировать и систематизировать необходимую информацию в рамках поставленной задачи	Может найти, систематизировать необходимую информацию, а также выявить новые, дополнительные источники информации в рамках поставленной задачи
Научное осмысление изучаемого явления, процесса, объекта	Не может делать научно корректных выводов из имеющихся у него сведений, в состоянии проанализировать только некоторые из имеющихся у него сведений	В состоянии осуществлять научно-корректный анализ предоставленной информации	В состоянии осуществлять систематический и научно-корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные задачи данные	В состоянии осуществлять систематический и научно-корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные поставленной задачи данные, предлагает новые ракурсы поставленной задачи
Освоение стандартных алгоритмов решения профессиональных задач	В состоянии решать только фрагменты поставленной задачи в соответствии с заданным алгоритмом, не освоил предложенный алгоритм, допускает ошибки	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом, понимает основы предложенного алгоритма	Не только владеет алгоритмом и понимает его основы, но и предлагает новые решения в рамках поставленной задачи

Студенты, не имевшие пропусков занятий в течение семестра, получившие допуск к экзамену, в том числе отличную оценку по результатам защиты КП, получают экзаменационную оценку «отлично» автоматически.

В данном учебно-методическом пособии представлены методические материалы по изучению дисциплины, включающие тематический план занятий с перечнем ключевых вопросов для каждой лекции, целевой установкой, рекомендуемой литературой, методическими указаниями и вопросами для самоконтроля. Изложены методические указания к самостоятельной работе



студентов. В приложениях – задания и контрольные вопросы к лабораторным работам; образец оформления титульного листа отчета о лабораторных работах; типовые задания на КП; образец оформления титульного листа КП; экзаменационные вопросы по дисциплине.

## **1 Тематический план лекционных занятий**

<b>Номер темы</b>	<b>Название темы</b>
Тема 1	Введение. Классификация машин
Тема 2	Критерии работоспособности деталей
Тема 3	Зубчатые передачи
Тема 4	Расчет допускаемых напряжений
Тема 5	Проверочные расчёты зубчатых передач
Тема 6	Червячная передача
Тема 7	Ременная, цепная передачи
Тема 8	Валы и оси. Подшипники
Тема 9	Шпоночные соединения. Муфты

## **2 Методические рекомендации по изучению дисциплины**

Приступая к изучению дисциплины «Детали машин и основы конструирования», следует обратить серьезное внимание на основные понятия, в том числе даваемые на вводной лекции: машина, деталь, сборочная единица, надежность, износостойкость и т. д. Помимо уяснения и осмысления этих понятий потребуется также актуализация понятий, знакомых из ранее изученных курсов, – сила, момент, мощность, напряжение, деформация, прочность, звено, кинематическая пара, механизм. Кроме того, для понимания существа лекционного материала необходимо уверенное владение единицами измерения физических величин и их взаимосвязями. При изучении дисциплины важно добиться знания и правильного применения технических и конструкторских терминов: механическая передача, редуктор, шестерня, зубчатое колесо, полюс зацепления, модуль, шкив, муфта, вал, ось, подшипник, цапфа, шаг и ход резьбы и т. д. Для успешного освоения дисциплины в рамках указанных аспектов и восприятия логики излагаемых сведений следует систематически вести и регулярно просматривать конспект лекций, а также внимательно изучать соответствующие разделы в рекомендованных литературных источниках.

Особенностью дисциплины «Детали машин и основы конструирования» является большое количество иллюстраций в виде эскизов и схем. Поэтому при конспектировании следует добиваться по возможности наиболее четких изображений в крупном масштабе, с отчетливыми обозначениями. При этом

желательно использовать простейшие чертежные принадлежности и разноцветные чернила. На лекционных и практических занятиях рекомендуется задавать вопросы преподавателю по изучаемой тематике; наличие у студента вопросов свидетельствует об осмысленном восприятии материала.

Лекционные занятия проводятся с целью дать студентам базовые сведения о назначении, устройстве, методах расчета и конструирования деталей и узлов машин. При чтении лекций материал делится на разделы и подразделы для обеспечения логической взаимосвязи и последовательности изложения. Первичные представления, полученные на лекции, должны позволить студенту сориентироваться в нужном направлении для дальнейшего самостоятельного поиска и изучения необходимой информации, в том числе по литературным источникам и интернет-ресурсам.

Ниже представлено содержание лекционных занятий.

## **Тема 1. Введение. Классификация машин**

*Ключевые вопросы темы:*

1. Цель и задачи дисциплины. Место дисциплины в структуре образовательной программы. Планируемые результаты освоения дисциплины.
2. Детали общего назначения.
3. Государственные стандарты.
4. Технологичность конструкций.

*Целевая установка:* Изучение данной темы ориентировано на формирование первоначальных представлений о предмете изучаемой дисциплины и ее месте в структуре общеинженерной подготовки, а также о целях и средствах освоения дисциплины. Среди целей также овладение технической терминологией, усвоение понятий о машинах, их функциональном назначении, многообразии и критериях оценки их совершенства. Студентам надлежит уяснить смысл и задачи взаимозаменяемости и стандартизации в технике.

*Рекомендуемая литература:* [1, с. 5–8, 51–52; 3, с. 4–5, 14–17; 4, с. 6–9, 13–14, 84–89].

## **Методические указания**

В начале рассмотрения дисциплины «Детали машин и основы конструирования» следует обратить внимание на предмет изучения, организацию учебного процесса и оценочные средства, а также на рекомендуемые источники информации.

Предметом изучения являются *детали* и *сборочные единицы* общего назначения. В связи с этим вводятся исходные понятия о *машинах* и их классификации, а также о деталях и сборочных единицах как составных частях

машин. При этом само изучение указанных объектов предполагает примерно единообразную схему: – назначение; – достоинства, недостатки и сферы применения; – устройство и принцип работы; – конструктивные особенности и параметры; – применяемые материалы и технологии; – опасные факторы и критерии работоспособности; – методики расчета либо подбора. Принятая номенклатура деталей и сборочных единиц общего назначения определяет деление учебной дисциплины на разделы.

При освоении данной темы необходимо осмыслить роль и значение взаимозаменяемости в современной технике. Одной из важнейших мер по обеспечению взаимозаменяемости является *стандартизация*. Следует уяснить задачи стандартизации и виды стандартов, а также общие принципы определения размеров технических объектов и порядок формирования стандартных рядов линейных размеров.

Среди важнейших показателей качества машины – *технологичность*, определяемая доступностью и удобством (при минимальных затратах ресурсов) операций, связанных с производством, эксплуатацией, ремонтом и утилизацией изделия. Необходимо осмыслить возможные меры повышения уровня технологичности машин, обратив внимание на роль *унификации* деталей.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Что называется машиной? Какие известны классы машин?
2. Как определяются деталь и сборочная единица?
3. Какие типы деталей относятся к деталям общего назначения?
4. Что такое взаимозаменяемость?
5. В чем состоит стандартизация? Какие существуют стандарты?
6. Как образованы ряды стандартных размеров?
7. Какие размеры наносятся на чертеже?
8. Что такое технологичность изделия?
9. За счет чего можно повысить уровень технологичности?

### **Тема 2. Критерии работоспособности деталей**

*Ключевые вопросы темы:*

1. Прочность деталей машин.
2. Износостойкость.
3. Жесткость системы.
4. Теплостойкость.

*Целевая установка:* Результатом изучения данной темы должно стать осмысление фундаментальных понятий о надежности машин и ее составляющих. Студентам следует уяснить сущность основных критериев работоспособности машин, а также задачи проектных и проверочных расчетов.

*Рекомендуемая литература:* [1, с. 18–22, 76–77, 81–83; 3, с. 5–10, 14–17; 4, с. 10–13, 15–19].

### **Методические указания**

Степень совершенства машины определяется ее надежностью, технологичностью и экономичностью, при этом надежность имеет приоритетное значение. В этой связи важно уяснить понятие *надежности* как комплексной характеристики, включающей несколько критериев. Выполнение этих критериев должно быть обеспечено на стадии проектирования за счет проектировочных и проверочных расчетов.

Требование *прочности* актуально практически для всех элементов машин. Необходимо уяснить суть этого понятия, осмыслив при этом особенности кратковременной, усталостной и длительной прочности.

Взаимодействие звеньев при движении механизмов в составе машины неизбежно сопряжено с трением. Следует усвоить понятие *пары трения* и осмыслить отрицательное влияние трения на работоспособность деталей и сборочных единиц. Наличие трения приводит к износу поверхностей, что является одной из основных причин выхода машин из строя, существенно влияет на их долговечность. Понимание сущности износа и способов его количественного описания важно для осмысленного восприятия трех стадий изнашивания поверхностей. Значимость износа делает *износостойкость* важным критерием работоспособности машин. Стоит обратить внимание на виды изнашивания и на меры повышения износостойкости.

*Жесткость* механической системы проявляется в способности противостоять недопустимому изменению геометрических параметров (формы и размеров) под действием внешних нагрузок. Этот критерий требует обязательного учета при разработке стержневых и тонкостенных конструкций. Существенно его значение и для горизонтальных валов в целях предотвращения чрезмерных прогибов, а также перекосов опорных участков в подшипниках.

Важным критерием работоспособности машин является *теплостойкость*, т. е. способность деталей и сборочных единиц функционировать в условиях повышенных температур с сохранением в заданных пределах своих эксплуатационных характеристик. Теплостойкость обеспечивается в первую очередь рациональным выбором конструкционных и смазочных материалов.

Уяснение сущности критериев работоспособности машин и овладение соответствующей терминологией важны для освоения дальнейшего учебного материала.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Что означает понятие надежности? Каким образом ее можно оценить количественно?
2. Какие составляющие включает надежность машины?
3. В чем сущность проектного и проверочного расчетов?
4. Что такое прочность?
5. Какими характеристиками описывается кратковременная прочность материала?
6. Какими характеристиками описывается усталостная прочность материала?
7. В чем проявляется износ деталей?
8. Какими параметрами описывается износ?
9. Какие стадии проходит процесс изнашивания?
10. Что такое износостойкость?
11. Какие известны способы обеспечения износостойкости деталей?
12. Что такое жесткость конструкции?
13. Что такое теплостойкость?
14. За счет чего может быть обеспечена теплостойкость конструкции?

### **Тема 3. Зубчатые передачи**

*Ключевые вопросы темы:*

1. Зубчатые передачи зацепления. Классификация.
2. Цилиндрические зубчатые передачи.
3. Силы, возникающие в зацеплении передач.
4. Расчет геометрических размеров зубчатых колес.
5. Порядок расчета главного параметра зубчатой цилиндрической передачи.
6. Порядок расчета главного параметра конической передачи.

*Целевая установка:* Изучение данной темы направлено на овладение теоретическими основами функционирования зубчатых передач, а также на дальнейшее освоение технической терминологии. Среди целей также усвоение сведений о геометрических параметрах, кинематике и силовом взаимодействии в зацеплении, объясняющих работу цилиндрической и конической зубчатых передач. Это должно стать основой для осмысленного применения студентами расчетных методик в ходе выполнения КП.

*Рекомендуемая литература:* [1, с. 89–91, 107–114, 119, 130–131; 2, с. 17–24, 27–31; 3, с. 117–123, 151–155, 157–160; 4, с. 35–38, 119–122, 125–129].

### **Методические указания**

Раздел о механических передачах занимает центральное место в структуре учебной дисциплины «Детали машин и основы конструирования». Первоочередное значение имеет понимание целей применения механических передач и принципов их классификации.

Функциональные возможности передачи описываются ее основными и производными характеристиками. *Основные характеристики* – мощность и частота вращения ведущего и ведомого валов. *Производные характеристики* – передаточное отношение и коэффициент полезного действия (КПД). Следует обратить внимание на единицы измерения упомянутых величин, а также на обоснование подсчета производных характеристик многоступенчатой передачи по известным параметрам отдельных ступеней.

Зубчатые передачи наиболее широко распространены в технике, поэтому их изучение и усвоение соответствующих подробностей имеют принципиальный характер. Среди таких подробностей – достоинства и недостатки, способы классификации, а также геометрические параметры зубчатых передач. Овладение этими сведениями, среди прочего, существенно для последующих осмысленных действий в ходе курсового проектирования. На начальном этапе обязательным является твердое усвоение смысла терминов *шестерня* и *колесо*.

При изучении геометрических параметров зубчатых передач важное значение имеет понятие *сопряженных профилей*, означающее такую форму рабочих поверхностей взаимодействующих зубьев, которая обеспечивает постоянство передаточного отношения. Требования к геометрии сопряженных профилей вытекают из *основной теоремы зацепления*. Понимание существа этой теоремы и логики ее доказательства необходимы для успешного освоения всего учебного материала о механических передачах. Важнейшее обстоятельство, следующее из теоремы: передаточное отношение будет постоянным, а значит, профили сопряженными, если в любом положении общая нормаль к ним в точке контакта проходит через одну и ту же точку на линии центров – полюс зацепления. Наиболее доступная форма профилей, соответствующих этому условию, – эвольвентная. В этой связи усвоение основных свойств *эвольвенты* важно для понимания дальнейшей информации об особенностях геометрии зубчатых колес с зубьями эвольвентного профиля.

При рассмотрении данной темы важное значение имеет усвоение ряда новых терминов и понятий, необходимых для описания геометрических аспектов зацепления цилиндрических зубчатых колес. В частности, *линия*

*зацепления* – геометрическое место точек касания сопряженных профилей. Для колес с эвольвентными зубьями это прямая линия, касательная к двум *основным окружностям* и проходящая через *полюс зацепления* – точку, в которой касаются две *начальные окружности*, перекатываясь друг по другу без скольжения, что обеспечивает постоянство передаточного отношения. Линия зацепления и общая касательная к начальным окружностям образуют *угол зацепления*, величина которого является стандартной. Несмотря на возможное совпадение по размерам, следует четко различать начальные окружности, присущие паре колес в зацеплении, и *делительные окружности*, отделяющие верхнюю и нижнюю части зубьев каждого из колес. Важным является также понятие *коэффициента торцового перекрытия*, показывающего количество пар зубьев, одновременно находящихся в зацеплении.

Серьезное внимание стоит уделить определению *модуля зацепления*, а также его размерности. Эта величина может принимать только стандартные значения и лежит в основе описания геометрии зубчатой передачи. В частности, размеры зубьев определяются значением модуля, а делительные диаметры колес, межосевое расстояние цилиндрической передачи, диаметры окружностей выступов и окружностей впадин зависят от модуля и числа зубьев. Соответствующие соотношения довольно просты и подлежат запоминанию. Согласно основной теореме зацепления передаточное отношение численно равно отношению начальных диаметров колеса и шестерни (при отсутствии смещения совпадающих с делительными диаметрами), которое за счет одинаковости модулей сводится к отношению чисел зубьев колеса и шестерни. Это значит, что имеет место равенство числовых значений передаточного отношения и *передаточного числа*. Следует, однако, иметь в виду смысловое различие этих двух величин: первая из них – кинематическая характеристика передачи, а вторая – конструктивная.

Косозубые цилиндрические передачи имеют преимущество перед прямозубыми за счет более плавного зацепления и более высокой нагрузочной способности. При описании геометрии косозубых колес могут быть использованы два модуля – *нормальный* и *окружной*. В случае прямозубых колес между ними нет разницы, а для косозубых колес эти модули связаны через косинус угла наклона зубьев. Важно запомнить, что именно нормальный модуль подчиняется стандартам. Описание геометрии, кинематики и силового взаимодействия для косозубых колес имеет более общий характер, поскольку прямозубое колесо всегда можно рассматривать как частный случай косозубого, у которого угол наклона зубьев равен нулю. В то же время любому косозубому колесу может быть поставлено в соответствие *эквивалентное прямозубое колесо*, диаметр и число зубьев которого зависят от параметров исходного косозубого колеса, в том числе от угла наклона зубьев. Польза такой

замены обнаруживается при силовых расчетах передачи и при анализе напряженного состояния зубьев. Принципиальным обстоятельством является то, что модуль эквивалентного прямозубого колеса равен нормальному модулю исходного косозубого колеса.

Специфика конической зубчатой передачи состоит во взаимно перпендикулярной ориентации ведущего и ведомого валов. В принципиальном отношении описание геометрии конической передачи подобно цилиндрической, при этом вместо касающихся друг друга начальных цилиндров имеется два начальных конуса с общей вершиной и образующей. При отсутствии смещения зубьев, что составляет подавляющее большинство случаев, начальные конусы совпадают с конусами делительными. Важно иметь в виду, что геометрические параметры прямозубых конических колес, включая стандартный окружной модуль, определяются на внешнем контуре, а размеры в среднем сечении используются в силовых расчетах. В этой связи следует обратить внимание на соотношения между внешними и средними параметрами – модулями, делительными диаметрами, конусными расстояниями. Кроме того, необходимо осмыслить понятие *дополнительных конусов* – внешнего и среднего. Изучение этих аспектов потребует внимательного рассмотрения иллюстративного материала.

Кинематика конической передачи описывается величиной передаточного отношения, которое, как и в случае цилиндрической передачи, оказывается численно равным передаточному числу.

Для всех типов зубчатых (а также червячных) передач расчеты усилий в зацеплении и напряжений в зубьях опираются на простейшие модели прямозубых цилиндрических колес. Поэтому, как и в случае косозубых цилиндрических колес, для конической передачи (в среднем сечении) вводится понятие эквивалентной цилиндрической прямозубой передачи. Параметры этой передачи, включая межосевое расстояние и передаточное отношение, могут быть объяснены и осмыслены с опорой на иллюстративный материал.

Определение сил в зацеплении зубчатой передачи необходимо для целей оценки прочности зубьев. Важно осмыслить логику этих операций для цилиндрической косозубой передачи: от окружной силы в виде отношения вращающего момента и половины делительного диаметра – к полной величине силы в зацеплении, направленной вдоль общей нормали к соприкасающимся профилям. При этом в первую очередь стоит обратить внимание на схемы силового взаимодействия, особенно на картину передачи усилий в плоскости эквивалентных прямозубых колес.

Передача усилий между прямозубыми коническими колесами моделируется в полюсе зацепления – точке контакта средних делительных окружностей. Отправной точкой является величина окружной силы в виде



отношения вращающего момента на валу и половины диаметра средней делительной окружности. Затем из рассмотрения силовой картины в плоскости эквивалентной цилиндрической передачи следует выражение полной силы вдоль нормали к поверхности зуба, а далее – выражения радиальной и осевой сил для каждого из зубчатых колес. Следует иметь в виду, что действующая на каждое из колес радиальная сила направлена к оси вращения, а осевая сила всегда направлена от вершины конуса.

Непосредственное вычисление усилий в зацеплении возможно, если известны геометрические параметры зубчатой передачи. Они определяются в ходе проектного расчета, где исходными данными являются основные и производные характеристики. Расчет начинается с определения *главного параметра* передачи. Для цилиндрической передачи это межосевое расстояние, для конической передачи это внешний делительный диаметр колеса. Главный параметр определяется из условия контактной прочности зубьев. Следует обратить внимание, каков характер влияния вращающего момента на тихоходном валу и передаточного отношения на результирующую величину. Важно иметь в виду, что после подсчета главного параметра передачи его величина должна быть округлена до ближайшего стандартного значения, как правило, в сторону увеличения. Это значение является отправной точкой для последующего определения остальных геометрических параметров зубчатой передачи. Принятые конструкторские решения в дальнейшем могут быть скорректированы, если такая необходимость будет выявлена по итогам проверочных расчетов.

### Вопросы для самопроверки

1. Из чего состоит привод?
2. Для каких целей предназначена механическая передача?
3. Как классифицируются механические передачи?
4. Каковы основные характеристики передачи? В каких единицах измеряются эти величины?
5. Как определяются производные характеристики одноступенчатой передачи?
6. Как подсчитать производные характеристики многоступенчатой передачи по известным параметрам отдельных ступеней?
8. Как классифицируются зубчатые передачи?
9. Какие профили называются сопряженными?
10. В чем суть основной теоремы зацепления?
11. Какое требование к геометрии сопряженных профилей вытекает из основной теоремы зацепления?

12. Что такое линия и угол зацепления?
13. Какие окружности называются начальными и делительными? Что у них общего и в чем различие?
14. Как определяется и что характеризует коэффициент торцового перекрытия?
15. Что такое модуль зацепления? Какие значения он может принимать и в каких единицах измеряется?
16. Какие геометрические параметры цилиндрической зубчатой передачи и каким образом зависят от модуля зацепления?
17. В чем преимущество косозубых колес по сравнению с прямозубыми?
18. Как определяются окружной и нормальный модули косозубого колеса? Какой из них является стандартным?
19. Как определяются делительный диаметр и число зубьев эквивалентного прямозубого колеса?
20. Как связаны передаточное отношение и передаточное число с геометрическими параметрами цилиндрической зубчатой передачи?
21. Как найти величину окружной силы в зацеплении цилиндрической зубчатой передачи?
22. Как найти полную величину силы в косозубом зацеплении цилиндрической передачи?
23. Каково взаимное расположение валов конической зубчатой передачи?
24. Какой из модулей прямозубой конической передачи является стандартным?
25. Какие геометрические параметры конической прямозубой передачи используются при силовом анализе?
26. Как связаны передаточные отношения конической зубчатой передачи и эквивалентной цилиндрической?
27. Как найти величину окружной силы в зацеплении конической зубчатой передачи?
28. Как найти полную величину силы в зацеплении прямозубой конической передачи?
29. Как направлены осевые силы в зацеплении конической зубчатой передачи?
30. Какой геометрический параметр подлежит первоочередному определению в результате проектного расчета цилиндрической зубчатой передачи?
31. Какой геометрический параметр подлежит первоочередному определению в результате проектного расчета конической зубчатой передачи?

## Тема 4. Расчет допускаемых напряжений

*Ключевые вопросы темы:*

1. Выбор материала.
2. Расчет контактных допускаемых напряжений.
3. Расчет изгибных допускаемых напряжений.

*Целевая установка:* Изучение данной темы должно привести к усвоению сведений о принципах выбора материалов зубчатых колес и порядке определения допускаемых напряжений в зубьях.

*Рекомендуемая литература:* [1, с. 22–27; 127–129, 133–135; 2, с. 11–17; 3, с. 169–182; 5, с. 134–142].

### Методические указания

Непосредственная разработка зубчатой передачи начинается с выбора материалов зубчатых колес. Следует обратить внимание на значение и способы термообработки материалов и уяснить смысл рекомендаций относительно твердости зубьев шестерни и колеса.

При рассмотрении данной темы необходимо осмыслить логику определения допускаемых напряжений в зубьях зубчатых колес. Проектировочный расчет зубчатой передачи исходит из подчинения основного геометрического параметра передачи условию *контактной прочности*. Проверочные расчеты имеют целью контроль выполнения условий *контактной* и *изгибной прочности* зубьев после принятия всех конструкторских решений. В обоих случаях условия прочности содержат величины допускаемых напряжений – контактных и изгибных. Согласно концепции оценки прочности, допускаемое напряжение получается делением предельного напряжения на коэффициент запаса прочности, который назначается директивно и всегда больше единицы. Предельными напряжениями в данном случае являются *пределы ограниченной выносливости* материала при контактном и изгибном воздействии в условиях пульсирующего цикла, что соответствует характеру нагружения зубьев. Эти значения определяются по экспериментальным кривым выносливости для контактных и для изгибных напряжений соответственно. Другой вариант – по эмпирическим формулам, исходя из величины твердости материала. Предел ограниченной выносливости соответствует расчетной долговечности, которая характеризуется *расчетным числом циклов* нагружения. Это число определяется исходя из частоты вращения зубчатого колеса и заданного ресурса передачи. Необходимо четко различать предел ограниченной выносливости и *предел выносливости* материала – характеристику, определяемую экспериментально для *базового числа циклов* нагружения. Базовое число циклов определяется в зависимости от твердости материала. От

отношения расчетного и базового чисел циклов зависит величина *коэффициента долговечности*, который не может быть меньше единицы. Исходя из этого, получается, что предел ограниченной выносливости связан с пределом выносливости посредством коэффициента долговечности. Следует помнить, что расчетное число циклов нагружения одинаково для контактных и изгибных напряжений. Важно добиться понимания смысла упомянутых выше величин (терминов) и усвоить порядок действий по определению допускаемых напряжений, в том числе при переменных режимах нагрузки.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Какой материал применяется для изготовления зубчатых колес?
2. Каким видам термообработки подвергаются зубчатые колеса?
3. Какие существуют рекомендации о сравнительной твердости материалов шестерни и колеса?
4. Для чего требуются допускаемые напряжения?
5. Какая величина берется в качестве предельной при определении допускаемого контактного напряжения?
6. Какая величина берется в качестве предельной при определении допускаемого изгибного напряжения?
7. Какие величины связывает между собой коэффициент долговечности?

### **Тема 5. Проверочные расчеты зубчатых передач**

*Ключевые вопросы темы:*

1. Проверочные расчеты на контактную прочность цилиндрических и конических передач.
2. Проверочные расчеты на изгибную прочность цилиндрических и конических зубчатых передач.

*Целевая установка:* В результате изучения данной темы должно появиться понимание основных идей и логики расчета на прочность зубчатых передач. Это должно способствовать осмысленному применению студентами расчетных методик в ходе выполнения КП.

*Рекомендуемая литература:* [1, с. 123–127, 132–135; 2, с. 24–25, 31–32; 3, с. 126–134, 139–141, 145–147, 155–156, 161–162; 4, с. 130–133, 154, 160–161].

### **Методические указания**

Выход из строя зубчатых передач, как правило, вызван выкрашиванием рабочих поверхностей зубьев либо их изломом. Это означает, что главным критерием работоспособности зубчатых передач является прочность.

Прочность передачи определяется прочностью зубьев шестерни и колеса в условиях действия циклических нагрузок. Выкрашивание рабочих поверхностей обусловлено контактными напряжениями  $\sigma_H$  в зоне соприкосновения зубьев; излом является следствием изгибных напряжений  $\sigma_F$ , достигающих максимума у основания зуба. При работе передачи зубья испытывают периодическое воздействие обоих напряжений, которые изменяются во времени по пульсирующему циклу.

Простейший инженерный способ оценки прочности – расчет по допускаемым напряжениям. В рамках этого способа условие прочности имеет вид  $\sigma_e \leq [\sigma]$ , где  $\sigma_e$  – эквивалентное напряжение, учитывающее в общем случае сложное напряженное состояние согласно используемой теории прочности. Правая часть неравенства – допускаемое напряжение  $[\sigma]$ . Неравенство проверяется в опасных точках, где  $\sigma_e$  достигает максимальных значений. Поскольку  $\sigma_H$  и  $\sigma_F$  локализованы в удаленных друг от друга зонах зуба, т. е. не оказывают взаимного влияния, в условии прочности для окрестности точки контакта  $\sigma_e$  имеет смысл  $\sigma_H$ , а для области у основания зуба  $\sigma_e = \sigma_F$ .

При разработке закрытых зубчатых передач (редукторов) приоритетное значение имеет контактная прочность, поскольку ее обеспечение практически гарантирует выполнение условия изгибной прочности. Поэтому оценка контактной прочности зубьев лежит в основе проектного расчета передачи. После принятия конструкторских решений необходимо убедиться в соблюдении условий прочности. С этой целью выполняются проверочные расчеты на контактную и изгибную прочность зубьев.

Для выполнения расчетов на прочность необходимо определение напряжений в зубьях, при этом инженерный подход ориентирован на применение простейших моделей. Фактическая конфигурация зубьев имеет лишь отдаленное сходство с этими моделями, поэтому для адаптации расчетных формул к реальным объектам применяются поправочные коэффициенты, например, коэффициент нагрузки.

Определение контактных напряжений основано на решении задачи Герца о продольном контакте двух длинных упругих цилиндров. Не пытаясь запомнить формулу Герца и последующие соотношения, стоит обратить внимание на входящие в них величины и характер их влияния на результирующую величину. Это относится и к упрощенной записи формулы Герца для металлических цилиндров. Безусловному осмыслению подлежат идеи, лежащие в основе адаптации формулы Герца к контакту зубьев зубчатых колес. Речь идет о выражении распределенной нагрузки вдоль линии контакта зубьев и о выражении приведенной кривизны контактирующих поверхностей для случаев косозубой цилиндрической и прямозубой конической передач. При этом существенным образом востребованы сведения об эквивалентных

прямоугольных цилиндрических передачах. Следует также иметь в виду, что итоговые формулы для максимальных контактных напряжений по-разному применяются в проектном и проверочном расчетах: в проверочном расчете – непосредственно, а в проектном расчете – для определения из условия прочности главного параметра передачи. Наличие в упомянутых формулах постоянного комплекса дает возможность не подсчитывать его всякий раз, а использовать заранее вычисленное значение в виде фиксированного справочного коэффициента.

В основе определения изгибных напряжений – модель зуба в виде консольной балки. Балка испытывает изгибные и сжимающие напряжения, обусловленные действием соответственно окружного и радиального усилий, приложенных к зубу. Наибольший уровень напряженного состояния имеет место у основания зуба, т.е. в заделке балки. При этом за счет равномерного сжатия зуба суммарное сжимающее напряжение в крайней точке этого сечения превосходит по величине суммарное растягивающее напряжение в крайней точке с противоположной стороны. Необходимо однако иметь в виду, что угроза усталостного разрушения при циклической нагрузке исходит именно от растягивающего напряжения, поэтому его наибольшее значение в основании зуба (умноженное на коэффициент нагрузки и на коэффициент концентрации напряжений) и берется в качестве изгибного напряжения  $\sigma_F$  при выполнении проверочного расчета на изгибную прочность. Благодаря геометрическому подобию зубьев разных модулей выражение  $\sigma_F$  приводится к компактной записи, содержащей безразмерный коэффициент формы зуба.

### Вопросы для самопроверки

1. Каков характер нагрузки на зубья зубчатых колес?
2. По каким причинам возможен выход из строя зубчатых колес?
3. Какой из критериев лежит в основе проектного расчета зубчатой передачи?
4. Как в общем виде выглядит условие прочности зуба?
5. На каком решении основано определение контактных напряжений в зубьях колеса?
6. Какие характеристики материала зубьев необходимы для определения контактных напряжений?
7. В какой зоне зуба локализуются контактные напряжения?
8. В какой зоне зуба локализуются изгибные напряжения?
9. Что проверяется в ходе проверочных расчетов зубчатой передачи?

## **Тема 6. Червячная передача**

*Ключевые вопросы темы:*

1. Классификация червячных передач.
2. Расчет геометрических размеров архимедова червяка.
3. Кинематический расчет передачи.
4. Проверочные расчеты. Проверка червячной передачи на контактную прочность.
5. Проверка изгибной прочности.
6. Тепловой расчет передачи.

*Целевая установка:* Изучение данной темы должно привести к пониманию принципа работы, усвоению сведений о геометрических параметрах, кинематике и силовом взаимодействии в зацеплении червячной передачи, а также о порядке выполнения проектного и проверочных расчетов. Это должно стать основой для осмысленного применения студентами расчетных методик при разработке червячного редуктора в ходе выполнения КП.

*Рекомендуемая литература:* [1, с. 176–186; 2, с. 32–40; 3, с. 210–213, 215–220, 225–226; 4, с. 213–224, 234–236].

### **Методические указания**

Тема о червячных передачах опирается на многие сведения, идеи и понятия, встретившиеся при рассмотрении зубчатых передач. Следует обратить внимание на названия и назначение звеньев червячной передачи, осмыслить принцип действия червячной пары, достоинства, недостатки и способы классификации червячных передач.

При рассмотрении геометрии червячной передачи принципиальное значение имеют понятия *винтовой линии* и ее *угла подъема*. Геометрические параметры червячного колеса определяются стандартным модулем зацепления; для описания параметров червяка наряду с модулем используется безразмерный коэффициент диаметра, который тоже подчиняется стандартам. Соответствующие соотношения для колеса и червяка подлежат осмыслению; формулы, связывающие делительные диаметры колеса и червяка с числом зубьев и числом заходов соответственно, следует запомнить.

Необходимо обратить внимание, что кинематика червячной передачи заметно отличается от кинематики передачи зубчатой, поскольку при передаче движения в червячной паре существенна роль скольжения, при этом окружные скорости червяка и колеса не совпадают ни по величине, ни по направлению. Связь между величинами этих скоростей устанавливается с учетом скорости скольжения. Это позволяет найти выражение передаточного отношения,

которое, как и в случае зубчатой передачи, численно совпадает с передаточным числом.

Усилия в червячном зацеплении определяются в целях выполнения расчетов на прочность. Отправной точкой, как и для зубчатых передач, является определение окружных сил через моменты – вращающий момент на валу червяка и момент сопротивления на валу колеса. Осевые усилия, действующие на червяк и на колесо, равны окружным силам, приложенным к колесу и червяку соответственно, что следует из 3-го закона Ньютона, как и равенство радиальных усилий на червяке и колесе. Стоит обратить внимание, что полное усилие, действующее в зацеплении на зуб червячного колеса, определяется так же, как и для косозубого цилиндрического колеса.

Выход из строя червячной передачи может быть вызван заеданием либо износом зубьев червячного колеса, при этом оба эффекта обусловлены контактными напряжениями  $\sigma_H$ . Поэтому контактная прочность зубьев червячного колеса является основным критерием работоспособности червячной передачи.

Для оценки контактной прочности требуется определение контактных напряжений. Используются те же идеи, что и для зубчатых колес, т.е. за основу берется формула Герца, которая затем приспособливается к особенностям червячной пары. Следует иметь в виду, что необходимое при этом определение приведенной кривизны соприкасающихся поверхностей в данном случае имеет специфику, учитывающую нулевую кривизну профиля архимедова червяка. Формулы для контактных напряжений не требуют запоминания, но необходимо осмысление роли входящих в них величин, а также логики использования этих соотношений в расчетах. Речь идет о непосредственном применении формулы в проверочном расчете и применение ее преобразованной формы в проектном расчете для определения межосевого расстояния передачи из условия контактной прочности зубьев. Помимо контроля контактной прочности проверочные расчеты червячного редуктора включают также проверку изгибной прочности зубьев колеса, а также тепловой расчет. Определение изгибных напряжений в зубьях червячного колеса аналогично подобной операции для косозубого колеса цилиндрической зубчатой передачи. При этом сравнительно более высокая прочность зуба червячного колеса, обусловленная его дуговой формой, учитывается соответствующими значениями коэффициента формы зуба, а особенности работы червячной пары – коэффициентом нагрузки. Необходимость теплового расчета обусловлена трением при взаимном скольжении червяка и червячного колеса, что приводит к интенсивному тепловыделению. Важно осмыслить суть теплового расчета – определение температуры масла в редукторе и сравнение ее с допускаемой.



## Вопросы для самопроверки

1. Как классифицируются червячные передачи?
2. В чем состоят достоинства и недостатки червячных передач?
3. В каких приводах возможно использование червячных редукторов?
4. Что означают термины шаг резьбы и ход резьбы червяка?
5. Какими стандартными параметрами определяется геометрия червячной передачи? В каких единицах измеряются эти параметры?
6. Как определяется передаточное отношение червячной передачи?
7. От чего зависит скорость скольжения в зацеплении червячной передачи?
8. Как связаны окружные, осевые и радиальные силы, воспринимаемые червяком и червячным колесом?
9. Прочность какого из звеньев определяет работоспособность червячной передачи?
10. Какой геометрический параметр подлежит первоочередному определению в результате проектного расчета червячной передачи?
11. Какие проверочные расчеты необходимы при разработке червячного редуктора?
12. Что является результатом теплового расчета червячного редуктора?

## Тема 7. Ременная, цепная передачи

### *Ключевые вопросы темы:*

1. Устройство, классификация, преимущества и недостатки ременных передач.
2. Геометрические параметры и кинематика ременной передачи.
3. Упругое скольжение ремня.
4. Распределение усилий в ветвях ременной передачи. Консольная нагрузка на валы ременной передачи.
5. Напряженное состояние ремня.
6. Устройство, классификация, преимущества и недостатки цепных передач.
7. Геометрия и кинематика цепной передачи.
8. Неравномерность движения цепи.
9. Критерии работоспособности цепной передачи.

*Целевая установка:* При изучении данной темы следует добиться понимания принципа действия и теоретических основ функционирования ременной и цепной передач. Цель также состоит в освоении порядка расчета ременной и цепной передач.

*Рекомендуемая литература:* [3, с. 267–278, 282–288, 293–305; 4, с. 237–246, 273–280].

### **Методические указания**

При изучении ременной передачи важно понять принцип ее работы и связанные с этим преимущества и недостатки, освоить соответствующую терминологию и основания для классификации. Обязательны для осмысления геометрические параметры – длина ремня, межосевое расстояние, углы охвата шкивов. В описании кинематики ременной передачи существенной особенностью является поправка на скольжение при определении передаточного отношения. Передачей движения за счет трения обусловлена необходимость *предварительного натяжения* ремня силой  $F_0$ .

Принципиальным аспектом для понимания закономерностей функционирования ременной передачи является *упругое скольжение* ремня. Осмысление сути этого эффекта и сопутствующих понятий *дуга скольжения* и *дуга покоя* важно для восприятия идей о распределении усилий в ветвях ремня работающей передачи. Важными понятиями при этом являются *полезная нагрузка*  $F_t$ , передаваемая силами трения, и *дополнительное натяжение от центробежных сил*  $F_v$ . Вывод формулы, описывающей связь между усилиями в ветвях ремня  $F_1$  и  $F_2$ , опирается на известные из курса теоретической механики сведения об условиях равновесия плоской системы сил. Это выражение для случая небольших скоростей, когда влияние центробежных сил несущественно, носит название *формулы Эйлера*. Практическая польза от упомянутых соотношений состоит в возможности оценки предельной (для заданных значений  $F_0$  и  $F_v$ ) величины полезной нагрузки  $F_t^*$ , когда дуга скольжения распространяется на всю дугу охвата ремнем ведущего шкива. Эта величина характеризует тяговую способность, которая является основным критерием работоспособности ременной передачи. Другим критерием является долговечность ремня.

Для оценки тяговой способности и долговечности важным аспектом является определение напряжений в ремне, а также анализ влияния отдельных составляющих напряженного состояния на работоспособность ременной передачи.

Напряженное состояние ремня включает напряжение от предварительного натяжения, полезное напряжение, напряжение от центробежных сил, а также изгибное напряжение на криволинейных участках ремня в зонах охвата шкивов. Необходимо четко уяснить, что первые три из названных составляющих равномерно распределены по сечению и зависят от соответствующих усилий в ремне, а изгибное напряжение определяется отношением толщины ремня к диаметру шкива. Пониманию характера

напряженного состояния должно способствовать внимательное рассмотрение эпюры распределения напряжений по длине ремня.

Рассмотрение цепной передачи рационально с позиций уяснения ее места в общей классификации механических передач и сопоставления с ременной передачей, что позволяет оценить преимущества, недостатки и возможные сферы применения. Следует осмыслить принцип действия и конструктивные особенности передачи, в первую очередь приводных цепей, а также связанные с этим основы для классификации.

Геометрические параметры, включая межосевое расстояние, шаг цепи, длину и число звеньев цепи, делительные диаметры и числа зубьев звездочек важны для описания работы, в том числе кинематики цепной передачи. Не менее важно понять и усвоить взаимосвязи между этими величинами. Следует также обратить внимание на распределение усилий в работающей цепной передаче.

Особого внимания заслуживает вопрос о неравномерности движения приводной цепи вследствие специфики траектории шарниров, находящихся в зацеплении с зубьями звездочек. Рассматривая схему движения шарнира при входе в зацепление с ведущей звездочкой, необходимо уяснить роль составляющих скорости в возникновении эффектов непостоянства мгновенного передаточного отношения, поперечных колебаний цепи и ударов шарниров о зубья звездочки.

Основным критерием работоспособности цепной передачи является износостойкость цепи. В этой связи важно осмыслить зависимость износа шарниров от геометрических параметров передачи и нагрузки на цепь, а также опасность износа из-за возможности схода с ведомой звездочки либо разрыва изношенной цепи. Существенным аспектом при этом является связь нежелательных эффектов с числом зубьев звездочек, которая дает возможность понять логику подбора оптимальных чисел зубьев.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Какие звенья входят в состав ременной передачи?
2. К какой категории относится ременная передача в общей классификации механических передач?
3. Как классифицируются ременные передачи?
4. Чему равен минимально допустимый угол охвата ведущего шкива?
5. Для чего необходимо предварительное натяжение ремня?
6. Как определяется передаточное отношение ременной передачи?
7. Какая из ветвей работающей ременной передачи более нагружена?
8. Что такое дуга скольжения и дуга покоя?

9. Какие величины связывает между собой формула Эйлера?
10. В какой зоне ремня имеет место наибольшее нормальное напряжение?
11. За счет чего можно повысить тяговую способность ременной передачи?
12. Какие звенья входят в состав цепной передачи?
13. К какой категории относится цепная передача в общей классификации механических передач?
14. Какие преимущества имеет цепная передача по сравнению с ременной?
15. Как классифицируются приводные цепи?
16. Как связаны шаг цепи и нагрузочная способность цепной передачи?
17. Как делительный диаметр звездочки зависит от числа зубьев и шага цепи?
18. Почему желательно четное число звеньев приводной цепи?
19. Чем обусловлена неравномерность движения цепи?
20. Чему равна окружная сила в работающей цепной передаче?
21. Какими критериями определяется работоспособность цепной передачи?
22. Чем опасен износ цепи?

## **Тема 8. Валы и оси. Подшипники**

*Ключевые вопросы темы:*

1. Валы, конструкция, материал.
2. Приближенный расчет валов.
3. Конструирование.
4. Уточненный расчет на прочность.
5. Классификация подшипников по виду трения.
6. Подшипники скольжения.
7. Подшипники качения. Маркировка.

*Целевая установка:* Изучение данной темы ориентировано на осмысление места и роли валов и осей в составе машин, при дальнейшем освоении технической терминологии, а также на овладение идеями и логикой построения расчетных схем и оценки прочности вала. Среди целей также усвоение сведений о назначении и номенклатуре подшипников. Студентам надлежит понять принципы работы и возможные режимы функционирования подшипников, а также получить представление о методике подбора подшипников качения.

*Рекомендуемая литература:* [1, с. 78–80, 213–214, 224–248, 257–265; 2, с. 45–53, 180–190; 3, с. 314–319, 322–324, 330–340, 343–358; 4, с. 299–307, 328–332].

## Методические указания

Валы и оси относятся к категории деталей для функционирования механических передач в составе полного набора деталей и сборочных единиц общего назначения. Необходимо уяснить назначение валов и осей, а также особенности их нагружения в условиях эксплуатации. Эти особенности и определяют разницу между валом и осью, которую следует четко представлять. Осмыслению конструктивного разнообразия и сфер применения способствует рассмотрение способов классификации валов и осей. Важным аспектом является усвоение смысла терминов, обозначающих посадочные поверхности и конструктивные элементы вала: *цанфа, шип, шейка, пята, заплечик, буртик, галтель, канавка* и т. д.

Конструирование вала предполагает определение диаметров и длин его отдельных участков (согласованных со стандартами и размерами присоединенных деталей) при соблюдении требований прочности и жесткости. Выполнение этих требований можно оценить посредством расчетов на прочность и жесткость. При этом используется простейшая модель вала в виде шарнирно опертой балки ступенчато-переменного круглого сечения под действием внешних нагрузок. Для тихоходного вала редуктора такими нагрузками являются крутящий момент, силы в зацеплении установленного на валу зубчатого (червячного) колеса, а также консольная сила на хвостовой части вала со стороны открытой передачи либо муфты. Шарнирные опоры балки имитируют взаимодействие вала с подшипниками. Тогда, действуя по известному из курса сопротивления материалов алгоритму, следует определить реакции опор, затем построить эпюры изгибающих и крутящих моментов, что даст возможность найти опасные сечения и выразить для этих сечений наибольшие напряжения. Из условия прочности, когда наибольшее напряжение приравнивается к допускаемому, может быть найден диаметр соответствующего сечения, который следует округлить до стандартного значения. Построение подобной расчетной схемы возможно, когда точно известно положение опор, что позволит определить величины и точки приложения их реакций. Это, в свою очередь, требует предварительного выбора подшипников конкретного типоразмера, для чего необходимы значения диаметров соответствующих участков вала. Таким образом получается, что найти диаметры отдельных участков вала из условий прочности, на основе учета всех нагрузок в рамках описанной расчетной схемы, не представляется возможным, поскольку сами искомые диаметры необходимы для построения этой расчетной схемы.

По указанной причине вначале выполняется проектный расчет вала. Отправной точкой является определение диаметра наименьшего из сечений вала – в его хвостовой части. Этот диаметр определяется из условия прочности

на кручение, когда учитывается только действие крутящего момента. При этом допускаемое касательное напряжение берется заведомо заниженным, чтобы запаса прочности вала хватило и на нормальные напряжения от неучтенных изгибающих моментов. Найденный диаметр округляется до стандартного значения, а диаметры остальных участков определяются с учетом предписанных стандартами размеров заплечиков вала и фасок подшипников. Подсчитанные величины диаметров должны быть подчинены стандартам, в том числе диаметры участков под подшипники (в мм) – кратными пяти. Длины отдельных участков вала определяются в зависимости от их диаметров, в соответствии со справочными рекомендациями. Известные размеры вала позволяют предварительно подобрать подшипники, а значит, определить положение опор на расчетной схеме вала и использовать эту схему для учета всех действующих на вал нагрузок.

Этот учет реализуется в ходе проверочного расчета вала. Его смыслом является контроль усталостной прочности в опасных сечениях вала. При этом в наиболее нагруженных точках этих сечений (на поверхности вала) имеет место сложное напряженное состояние. В таком случае необходимо использование эквивалентного напряжения, которое обычно определяется по 4-й теории прочности. Важно понять, по какой причине обусловленные изгибом нормальные напряжения изменяются по симметричному циклу, а обусловленные кручением касательные напряжения изменяются по пульсирующему циклу. В проверочном расчете вала оценка прочности обычно выполняется по схеме задачи надежности, когда в опасных сечениях определяется фактический коэффициент запаса и сравнивается с допускаемым. При этом фактический коэффициент запаса в условиях сложного напряженного состояния определяется согласно 4-й теории прочности по частным коэффициентам запаса усталостной прочности только на изгиб и только на кручение. Важно уяснить логику оценки усталостной прочности, в том числе смысл коэффициента концентрации напряжений и коэффициентов, учитывающих масштабный фактор и состояние поверхности.

Помимо контроля усталостной прочности выполняется также проверочный расчет вала на кратковременную прочность. Его цель – убедиться в отсутствии опасности разрушения и пластического деформирования в опасных сечениях при кратковременных перегрузках. Такая ситуация моделируется введением коэффициента перегрузки. И в этом случае общий коэффициент запаса прочности рассчитывается по частным коэффициентам согласно 4-й теории прочности.

Уяснение содержания и последовательности проектного и проверочных расчетов вала, а также смысла используемых при этом величин важно, в числе прочего, для грамотных действий в процессе курсового проектирования.

Подшипники представляют собой опорные устройства для фиксации в корпусе валов и подвижных осей, с обеспечением их беспрепятственного вращения при минимальных потерях на трение. Представление о назначении подшипников лежит в основе понимания их устройства, принципов работы и признаков для классификации.

Из-за трения скольжения и связанных с ним негативных эффектов подшипники скольжения, как правило, уступают по эффективности подшипникам качения и используются только в тех случаях, когда подшипники качения неприменимы. Помимо обоснования сфер применения подшипников скольжения следует также усвоить их устройство и требования к материалам. Стоит обратить внимание на то, что подшипники скольжения как сборочные единицы не изготавливаются массово, поэтому их конструктивные параметры, исключая размеры вкладышей, не стандартизированы.

Следует четко усвоить возможные режимы работы подшипника скольжения и их особенности, уяснив различия *граничного*, *полужидкостного* и *жидкостного* трения. В этой связи стоит присмотреться к диаграмме зависимости коэффициента трения от *характеристики рабочего режима* подшипника. Необходимо также осмыслить идеи упрощенного расчета подшипника по условному давлению и по произведению давления на скорость, что соответствует критериям износостойкости и термостойкости.

Особое внимание стоит обратить на работу *гидродинамического* подшипника в режиме жидкостного трения и на комплекс условий для возникновения этого режима, а также на зависимость эксцентриситета от скорости вращения вала.

Подшипники качения, в противовес подшипникам скольжения, применяются практически повсеместно, обеспечивая минимальные потери на трение, и являются самыми массово выпускаемыми стандартными изделиями. Осмысление общего устройства подшипника и назначения отдельных деталей дает возможность понять кинематику подшипника качения и характер распределения нагрузки между телами качения. Следует также четко уяснить классификационные признаки и усвоить существующие размерные серии, классы точности и типы подшипников качения. Эти сведения составляют основу для овладения умением расшифровать маркировку (по крайней мере, 4 символа справа) подшипника качения.

При разработке технических объектов подшипники качения не рассчитываются и не конструируются, а подбираются из стандартной номенклатуры. Рассматривая подбор по динамической грузоподъемности, следует обратить внимание на эмпирическую связь *паспортной динамической грузоподъемности*, *ресурса* и *эквивалентной нагрузки*, попутно уяснив смысл этих величин.

## Вопросы для самопроверки

1. Для чего предназначены валы и оси?
2. В чем разница между валом и осью?
3. Как классифицируются валы?
4. Как называются опорные поверхности вала?
5. Что из себя представляет расчетная модель вала редуктора?
6. В чем суть проектного расчета вала?
7. Почему в проектном расчете вала допускаемое касательное напряжение существенно занижено?
8. Что определяется в результате проверочного расчета вала?
9. Какой вид прочности оценивается в проверочном расчете вала?
10. Каков характер изменения нормальных и касательных напряжений на поверхности вращающегося вала?
11. Для каких сечений вала выполняется проверочный расчет?
12. С какой целью применяются подшипники?
13. Как классифицируются подшипники по направлению воспринимаемой нагрузки?
14. Чем определяется сфера применения подшипников скольжения?
15. В каких случаях следует применять подшипники скольжения?
16. Какие режимы трения возможны при работе подшипника скольжения?
17. При выполнении каких условий возможна гидродинамическая работа подшипника скольжения?
18. Из чего состоит подшипник качения?
19. Какие существуют размерные серии подшипников качения?
20. Сколько существует типов подшипников качения?
21. Как расшифровываются две крайние справа цифры в маркировке подшипника качения?

## Тема 9. Шпоночные соединения. Муфты

*Ключевые вопросы темы:*

1. Выбор шпонки.
2. Конструктивные параметры шпоночных и шлицевых соединений.
3. Проверочный расчет шпоночного и шлицевого соединений.
4. Назначение и классификация механических муфт.
5. Конструктивные особенности нерасцепляемых муфт.
6. Конструктивные особенности и принцип действия расцепляемых управляемых и самодействующих муфт.
7. Порядок подбора муфт.



*Целевая установка:* В результате изучения данной темы студентам следует усвоить информацию о назначении и классификации соединений деталей машин, понять принципы оценки прочности и нагрузочной способности шпоночного соединения, получить представление о назначении и номенклатуре муфт. Осмыслению подлежит устройство и принципы работы муфт различных типов, а также методика подбора муфт.

*Рекомендуемая литература:* [1, с. 280–294, 303–312; 2, с. 83–89, 334–369; 3, с. 91–102, 366–374, 382–401; 4, с. 308–312, 413, 421–424].

### **Методические указания**

При изучении соединений деталей машин необходимо прежде всего осмыслить их глобальное деление по признаку разъемности, а также принцип равнопрочности, на котором основана концепция создания соединений.

Соединения валов с установленными на них зубчатыми и червячными колесами, шкивами, звездочками и т. п. должны обеспечивать надежную фиксацию и передачу вращающего момента.

Наиболее простым среди подобных соединений является шпоночное. Необходимо обратить внимание на особенности применения призматических, сегментных и цилиндрических шпонок, а также на способ передачи нагрузки между валом и ступицей посредством призматической шпонки, что позволит понять характер ее напряженного состояния. Размеры шпонки стандартизированы и зависят от диаметра вала, при этом соотношение сторон в поперечном сечении предопределяет первоочередную опасность напряжений смятия. Уяснению подлежат конструктивные особенности соединения и геометрические параметры шпонки, влияющие на ее сопротивление смятию. Следует иметь в виду, что значительная концентрация напряжений и крайне неравномерное распределение нагрузки серьезно ограничивают нагрузочную способность шпоночного соединения.

Более равномерное распределение нагрузки, а значит, и большую нагрузочную способность обеспечивает шлицевое соединение, реализованное на том же принципе, что и шпоночное. Оба соединения относятся к категории разъемных, т. е. допускающих многократную сборку/разборку. При рассмотрении шлицевых соединений стоит обратить внимание на возможные формы профиля шлицов и наличие размерных серий. Упрощенный расчет шлицевого соединения на сопротивление смятию описывается очевидным образом на основе элементарного условия прочности.

Рассмотрение механических муфт ориентировано в первую очередь на осмысление их функционального назначения и классификации. При этом необходимо иметь в виду, что помимо общей функции соединения валов муфты могут использоваться в целях включения/выключения исполнительного

устройства без остановки ведущего вала, предохранения вала от перегрузок, компенсации несоосности валов, смягчения динамических эффектов. Эти и другие признаки лежат в основе классификации муфт, на которую следует обратить пристальное внимание.

Осмысление принципа действия муфт разных типов опирается на изучение их конструктивных особенностей, для чего обязательно использование иллюстративного материала. Сведения об устройстве муфт дают возможность понять их преимущества и недостатки, а значит, и возможности применения. При рассмотрении компенсирующих муфт следует уяснить, в чем проявляется *несоосность валов*, и усвоить соответствующие термины.

Применяемые в технике механические муфты стандартизированы. Их подбор осуществляется по основной паспортной характеристике – вращающему моменту, который муфта способна передавать.

### Вопросы для самопроверки

1. Как классифицируются соединения деталей машин?
2. На каком принципе основана разработка соединений деталей машин?
3. Какие достоинства и недостатки у шпоночного соединения?
4. Чем определяется работоспособность шпоночного соединения?
5. Что из себя представляет шлицевое соединение? В чем его преимущество перед шпоночным?
6. Для чего предназначены муфты?
7. Как классифицируются муфты?
8. Что компенсируют компенсирующие муфты?
9. Какие существуют конструктивные разновидности жестких компенсирующих муфт?
10. С какой целью применяются упругие муфты?
11. Какие существуют конструктивные разновидности упругих муфт?
12. На каких двух возможных принципах основана работа управляемых муфт?
13. Какие существуют конструктивные разновидности предохранительных муфт?
14. Какая характеристика является основной при подборе муфты?

Формами, направленными на практическую подготовку, являются практические и лабораторные занятия, выполнение индивидуального технического задания по курсовому проекту в рамках самостоятельной работы студентов (СРС).

На практических занятиях в аудитории разбираются типовые задачи и

упражнения по тематике лекций, с ориентацией на применение в ходе курсового проектирования. Правильность выполнения заданий контролируется преподавателем. Дополнительно, в рамках СРС и в соответствии с индивидуальным заданием, каждый студент применяет разобранные на практических занятиях методики и алгоритмы к разработке курсового проекта. Перед практическими занятиями следует повторить теоретический материал по конспекту лекций. При посещении практических занятий обязательно иметь при себе техническое задание на КП и учебно-методические пособия по практическим занятиям, а также пособия, рекомендованные для работы над КП. Указанные пособия имеются в библиотеке КГТУ и доступны в ЭИОС. Обеспечить учебную группу на занятиях методическими и справочными материалами для выполнения предусмотренных упражнений кафедра имеет возможность лишь частично, из расчета 1 экз. на 4 – 5 студентов.

Информация по тематике и содержанию практических занятий, методические рекомендации и порядок выполнения типовых заданий, а также необходимые справочные материалы и контрольные вопросы имеются в учебно-методическом пособии по практическим занятиям.

Лабораторный практикум выполняется с целью осмысления теоретического материала посредством наглядного знакомства с устройством и работой деталей, узлов и механизмов общего назначения, что должно способствовать закреплению в лабораторных условиях приобретенных знаний и навыков. Перед лабораторными занятиями следует ознакомиться с содержанием очередной работы в учебно-методическом пособии, а также распечатать размещенный в ЭИОС шаблон отчета о лабораторной работе с целью заполнения результатами наблюдений и замеров по ходу занятия. На лабораторных занятиях учебная подгруппа разделяется на две самостоятельные команды, каждая из которых совместно выполняет общее задание. Приступать к непосредственному выполнению работы можно только после разрешения преподавателя. По завершении работы следует ознакомить преподавателя с полученными результатами и получить его согласие на оформление отчета, которое осуществляется во внеаудиторное время. Отчеты о лабораторных работах оформляются в соответствии с требованиями стандартов для текстовых документов. Защита готовых отчетов может происходить на лабораторных занятиях или во время консультаций.

В процессе освоения дисциплины студентом составляется портфолио, которое формируется к окончанию курса обучения. В портфолио фиксируются результаты обучения, в том числе сканы титульных листов защищенного КП и защищенного отчета о лабораторных работах.

Одно из основных условий получения прочных знаний и навыков, а также успешной аттестации по дисциплине – систематическая и планомерная

работа в течение всего семестра. Особенно это относится к курсовому проектированию, где необходимо постоянно контролировать соответствие сроков завершения отдельных этапов плану работы в Техническом задании.

### **3 Методические указания по самостоятельной работе студентов**

Самостоятельная работа студентов, помимо освоения лекционного материала и подготовки к лабораторным занятиям, связана главным образом с выполнением КП. Правильная организация этой деятельности предполагает проработку и усвоение лекционного материала и материалов практических занятий, подготовку отчетов о лабораторных работах, а главное – последовательное и осмысленное выполнение инструкций, изложенных в рекомендованных методических пособиях по курсовому проектированию. Обычно необходимые действия по выбору справочных сведений и расчетам вначале выполняются на черновике, при этом рекомендуется тщательно фиксировать исходные данные, необходимые на данном этапе, а также сопровождать все операции краткими комментариями, чтобы исключить путаницу в дальнейшем. Для размерных величин в обязательном порядке следует указывать единицы измерения, а также контролировать согласование размерностей при использовании расчетных формул. Особого внимания и тщательности требует п. 3 «Определение кинематических и силовых характеристик привода» плана работы в Техническом задании. Последующие разделы проекта существенным образом зависят от результатов этого этапа, поэтому допущенные ошибки могут поставить под сомнение всю дальнейшую работу.

После контроля правильности черновых записей, в том числе с участием преподавателя на практических занятиях и консультациях, соответствующие данные переносятся в пояснительную записку. Выполнение КП включает подготовку пояснительной записки и разработку чертежей. Все документы должны быть оформлены в соответствии с требованиями стандартов. Шаблон оформления пояснительной записки КП размещен в ЭИОС. Пример оформления титульного листа КП содержится в Приложении Г. В шифре перед символами ПЗ указывается 4-значный номер индивидуального задания на КП. Например, для проекта направления подготовки 15.03.01 по заданию 7-4 шифр будет иметь вид КП.24.15.03.01.0704.ПЗ. Помимо титульного листа шифр должен быть на всех страницах пояснительной записки (исключая Техническое задание), согласно шаблону в ЭИОС. Чертежи можно разрабатывать вручную либо с использованием программных продуктов САПР: AutoCAD, КОМПАС и т. п.

Важной и ответственной составляющей самостоятельной работы студентов является подготовка к экзамену. Условия допуска к экзамену оговорены во Введении. Перечень экзаменационных вопросов приведен в Приложении Д.

#### **4 Методические указания по самостоятельной работе студентов заочного обучения**

Специфика заочного обучения состоит в существенном преобладании самостоятельной работы в структуре учебного процесса. В связи с этим студентам необходимо ориентироваться на постоянное взаимодействие с рекомендованными учебно-методическими материалами, имеющимися в библиотеке КГТУ и размещенными в ЭИОС. При этом контакт с преподавателем, помимо аудиторных занятий в период сессии, предусмотрен в форме очных консультаций, а также посредством ЭИОС и электронной почты.

Наибольшие сложности у студентов заочного обучения вызывает выполнение КП. Поэтому рекомендуется приступать к курсовому проектированию сразу после установочных лекций и получения индивидуального задания на КП. Полный набор индивидуальных заданий имеется в ЭИОС. Там же размещается информация о номерах заданий для студентов учебных групп. Типовые задания на КП приведены в Приложении В.

#### **Библиографический список**

1. Детали машин и основы конструирования: учеб. / ред.: Г. И. Роцин, Е. А. Самойлов. – Москва: ЮРАЙТ, 2012. – 416 с.
2. Дунаев, П. Ф. Конструирование узлов и деталей машин: учеб. пособие / П. Ф. Дунаев, О. П. Леликов. – Москва: Академия, 2009. – 496 с.
3. Иванов, М. Н. Детали машин: учеб. / М. Н. Иванов, В. А. Финогенов. – Москва: Высшая школа, 2008. – 408 с.
4. Чернилевский, Д. В. Детали машин и основы конструирования: учеб. / Д. В. Чернилевский. – Москва: Машиностроение, 2006. – 656 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Задания и контрольные вопросы к лабораторным работам

*Лабораторная работа № 1. Ознакомление с основными типами редукторов.*

Цель работы: формирование навыков чтения схем редукторов, умений определять передаточное число и коэффициент полезного действия (КПД) редуктора.

Контрольные вопросы:

1. Перечислите состав деталей одноступенчатого и двухступенчатого цилиндрических редукторов.
2. Назовите состав деталей одноступенчатого конического редуктора.
3. Перечислите состав деталей одноступенчатого червячного редуктора.
4. Запишите формулу для определения передаточного числа одноступенчатого редуктора (цилиндрического, конического).
5. Составьте формулу для определения КПД одноступенчатого конического редуктора.
6. Запишите формулу для определения передаточного числа двухступенчатого редуктора (цилиндрического, коническо-цилиндрического).
7. Составьте формулу для определения КПД двухступенчатого коническо-цилиндрического редуктора.

*Лабораторная работа № 2. Цилиндрический редуктор. Сборка и разборка. Определение основных параметров.*

Цель работы: закрепление умений разборки и сборки редуктора, обмера его геометрических параметров, формирование навыка расчета двухступенчатого цилиндрического редуктора.

Контрольные вопросы:

1. Сформулируйте фразу: «Редуктор – это устройство ...».
2. Как изменяются в редукторе частота вращения, мощность, вращающий момент от быстроходного вала к тихоходному валу?
3. Назовите преимущества и недостатки косозубой цилиндрической зубчатой передачи.
4. Перечислите виды отказов, возникающих при работе цилиндрической зубчатой передачи.
5. Назовите геометрические параметры цилиндрической зубчатой передачи.
6. Что такое модуль зубчатого зацепления?

7. Какова связь между торцевым и нормальным шагом в косозубой передаче?

*Лабораторная работа № 3. Коническо-цилиндрический редуктор. Сборка и разборка. Определение основных параметров.*

Цель работы: закрепление умений сборки и разборки редуктора, обмера его геометрических параметров, формирование навыка расчета двухступенчатого коническо-цилиндрического.

Контрольные вопросы:

1. Дополните фразу: «Редуктор – это устройство ...».
2. Как изменяются в редукторе частота вращения, мощность, вращающий момент?
3. Назовите преимущества и недостатки конической передачи.
4. Почему модуль в конической передаче имеет разное значение по длине зуба?
5. Перечислите геометрические параметры конического колеса.
6. Какие детали и узлы входят в состав коническо-цилиндрического редуктора.
7. От каких параметров зависит внешнее конусное расстояние?

*Лабораторная работа № 4. Червячный редуктор. Сборка и разборка. Определение основных параметров.*

Цель работы: закрепление умений разборки и сборки редуктора, обмера его геометрических параметров, формирование навыка расчета одноступенчатого червячного редуктора.

Контрольные вопросы:

1. Дополните фразу: «Редуктор – это устройство ...».
2. Как изменяются в редукторе частота вращения, мощность, вращающий момент?
3. Перечислите преимущества и недостатки червячной передачи.
4. Из каких материалов изготавливается венец червячного колеса?
5. Является ли червячный редуктор самотормозящей передачей?
6. Перечислите основные геометрические размеры червяка, червячного колеса.
7. Назовите единицу измерения модуля.

*Лабораторная работа № 5. Изучение конструкций валов. Построение эскиза вала.*

Цель работы: ознакомление с основными типами валов, привитие навыков выполнения эскиза вала с предложенной детали.

Контрольные вопросы:

1. Какую деталь называют валом?
2. Что такое ось?
3. Поясните, в чем разница между валом и осью.
4. Перечислите виды валов по конструктивным признакам.
5. Назовите виды валов по типу сечения.
6. Чем определяется конструкция валов?
7. Зарисуйте эскиз тихоходного вала цилиндрического редуктора. Запишите формулы для определения диаметров участков такого вала.
8. Зарисуйте эскиз тихоходного вала цилиндрического редуктора. Запишите формулы для определения длин участков такого вала.

*Лабораторная работа № 6. Ременная передача. Определение основных параметров.*

Цель работы: закрепление умений получать и обрабатывать экспериментальные данные, формирование навыка расчета ременной передачи.

Контрольные вопросы:

1. Укажите назначение, достоинства и недостатки механизмов с гибким элементом.
2. С какой целью и какими способами создают начальное натяжение гибкого элемента?
3. Какие параметры механизма с гибким элементом оказывают влияние на его тяговую способность?
4. Укажите причину упругого скольжения ремня на шкивах.
5. От каких параметров зависит коэффициент тяги гибкого элемента о шкив?
6. Как влияет изменение коэффициента тяги на значение окружного усилия?
7. Расскажите о влиянии изменения коэффициента тяги на значения сил  $F_1$  и  $F_2$ .

*Лабораторная работа № 7. Подшипники. Маркировка подшипников качения.*

Цель занятия: закрепление умений анализа состава деталей в подшипниках качения, формирование навыка расшифровки маркировки этих стандартных узлов.

Контрольные вопросы:

1. Каковы конструктивные различия подшипников скольжения?
2. Назовите материал вкладышей подшипников скольжения.
3. Каковы виды разрушения подшипников скольжения?



4. Каковы критерии работоспособности подшипников скольжения?

5. Классификация подшипников качения по направлению воспринимаемой нагрузки, по форме тел качения, по основным конструктивным признакам

6. Перечислите достоинства и недостатки подшипников качения по сравнению с подшипниками скольжения.

7. По какому расчетному параметру определяется пригодность выбранного подшипника качения?

**ПРИЛОЖЕНИЕ Б**

**Образец оформления титульного листа отчета о лабораторных  
работах**

Федеральное агентство по рыболовству  
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»  
Институт морских технологий, энергетики и строительства  
Кафедра теории механизмов и машин и деталей машин



Лабораторные работы по дисциплине  
«Детали машин и основы конструирования»

ЛР.24.15.03.01.ПЗ

Студент \_\_\_\_\_

группа –МС

Руководитель \_\_\_\_\_ проф. Федоров С.В.

Калининград 202

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

### Типовые задания на курсовой проект

#### Задание № 2-1

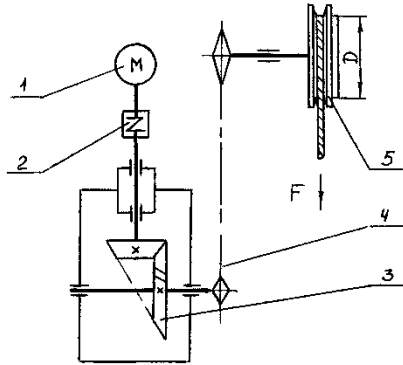
на курсовой проект по дисциплине «Детали машин и основы конструирования»

студент \_\_\_\_\_

группа \_\_\_\_\_

Исходные данные: эксплуатационные параметры привода –  $F = 2,00$  кН;  $v = 1,20$  м/с;  
 $D = 0,25$  м; срок службы  $L = 9$  лет; режим работы – тяжелый.

#### Привод ярусноподъемной лебедки



- 1 - электродвигатель;
- 2 - муфта упругая;
- 3 – конический редуктор;
- 4 - цепная передача;
- 5 - тяговый шкив

#### План работы

№	Содержание этапа	Учебная неделя	% готовности проекта
1	Выбор стандартного электродвигателя для данной схемы и параметров привода	2	5
2	Подбор стандартного передаточного отношения редуктора	2	6
3	Определение кинематических и силовых характеристик привода	3	8
4	Выбор материалов для звеньев редуктора и подсчет допускаемых напряжений	3	10
5	Проектный расчёт редуктора	4	13
6	Определение геометрических параметров зубчатой передачи	4	15
7	Проверочный расчёт редуктора	5	18
8	Определение усилий в зубчатом зацеплении, выбор смазки	5	20
9	Проектирование цепной передачи	6	30
10	Выбор муфты	7	32
11	Проектный расчет валов редуктора	7	35
12	Конструирование зубчатых колес	7	38
13	Подбор подшипников для валов редуктора	8	40
14	Эскизная компоновка редуктора	8	45
15	Составление расчетных схем валов и определение опорных реакций	9	47
16	Проверка работоспособности подшипников	9	50
17	Проверочный расчет валов редуктора	10	60
18	Конструирование корпуса редуктора	11	65
19	Оформление пояснительной записки	12	70
20	Разработка сборочного чертежа редуктора (A1), составление спецификации	14	85
21	Выполнение рабочих чертежей зубчатого колеса и тихоходного вала редуктора (2х A3)	15	100

Дунаев, П. Ф. Конструирование узлов и деталей машин / П. Ф. Дунаев, О. П. Леликов. – Москва: Академия, 2004. – 496 с.

Федоров, С. В. Детали машин. Раздел: «Выбор электродвигателя, кинематический и силовой расчет элементарного привода». Методическое пособие по курсовому проектированию / С. В. Федоров. – Калининград: КГТУ, 2011. – 16 с.

Шарков, О. В. Детали машин и основы конструирования: учебно-методическое пособие / О. В. Шарков. – Калининград: КГТУ, 2016. – 117 с.

Шейнблит, А. Е. Курсовое проектирование деталей машин / А. Е. Шейнблит. – Калининград: Янтарный сказ, 2002. – 454 с.

Задание выдал \_\_\_\_\_ проф. Федоров С. В. «\_\_» \_\_\_\_\_ 202\_\_ г.

## Задание № 6-1

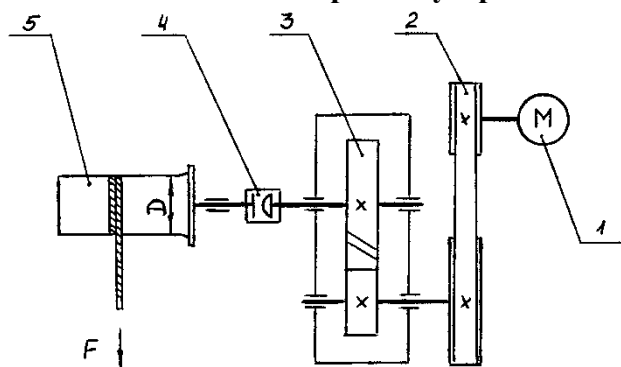
на курсовой проект по дисциплине «Детали машин и основы конструирования»

студент \_\_\_\_\_

группа \_\_\_\_\_

Исходные данные: эксплуатационные параметры привода –  $F = 0,50$  кН;  $v = 1,80$  м/с;  
 $D = 0,46$  м; срок службы  $L = 4$  года; режим работы – тяжелый.

### Привод устройства койлания поводцов яруса



- 1 - электродвигатель;
- 2 - плоскоременная передача;
- 3 - цилиндрический редуктор;
- 4 - муфта компенсирующая;
- 5 - рабочий барабан

### План работы

№	Содержание этапа	Учебная неделя	% готовности проекта
1	Выбор стандартного электродвигателя для данной схемы и параметров привода	2	5
2	Подбор стандартного передаточного отношения редуктора	2	6
3	Определение кинематических и силовых характеристик привода	3	8
4	Выбор материалов для звеньев редуктора и подсчет допускаемых напряжений	3	10
5	Проектный расчёт редуктора	4	13
6	Определение геометрических параметров зубчатой передачи	4	15
7	Проверочный расчёт редуктора	5	18
8	Определение усилий в зубчатом зацеплении, выбор смазки	5	20
9	Проектирование ременной передачи	6	30
10	Выбор муфты	7	32
11	Проектный расчет валов редуктора	7	35
12	Конструирование зубчатых колес	7	38
13	Подбор подшипников для валов редуктора	8	40
14	Эскизная компоновка редуктора	8	45
15	Составление расчетных схем валов и определение опорных реакций	9	47
16	Проверка работоспособности подшипников	9	50
17	Проверочный расчет валов редуктора	10	60
18	Конструирование корпуса редуктора	11	65
19	Оформление пояснительной записки	12	70
20	Разработка сборочного чертежа редуктора (А1), составление спецификации	14	85
21	Выполнение рабочих чертежей зубчатого колеса и тихоходного вала редуктора (2х А3)	15	100

Дунаев, П. Ф. Конструирование узлов и деталей машин / П. Ф. Дунаев, О. П. Леликов. – Москва: Академия, 2004. – 496 с.

Федоров, С. В. Детали машин. Раздел: «Выбор электродвигателя, кинематический и силовой расчет элементарного привода». Методическое пособие по курсовому проектированию / С. В. Федоров. – Калининград: КГТУ, 2011. – 16 с.

Шарков, О. В. Детали машин и основы конструирования: учебно-методическое пособие / О. В. Шарков. – Калининград: КГТУ, 2016. – 117 с.

Шейнблит, А. Е. Курсовое проектирование деталей машин / А. Е. Шейнблит. – Калининград: Янтарный сказ, 2002. – 454 с.

Задание выдал \_\_\_\_\_ доц. Сукиасов В. Г. « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 202\_\_ г.

## Задание № 7-1

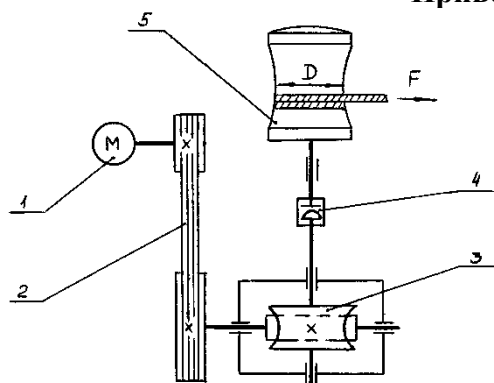
на курсовой проект по дисциплине «Детали машин и основы конструирования»

студент \_\_\_\_\_

группа \_\_\_\_\_

Исходные данные: эксплуатационные параметры привода –  $F = 5,00$  кН;  $v = 0,45$  м/с;  
 $D = 0,25$  м; срок службы  $L = 6$  лет; режим работы – тяжелый.

### Привод судового шпиля



- 1 – электродвигатель;
- 2 – клиноременная передача;
- 3 – червячный редуктор;
- 4 – муфта компенсирующая;
- 5 – рабочий барабан

### План работы

№	Содержание этапа	Учебная неделя	% готовности проекта
1	Выбор стандартного электродвигателя для данной схемы и параметров привода	2	5
2	Подбор стандартного передаточного отношения редуктора	2	6
3	Определение кинематических и силовых характеристик привода	3	8
4	Выбор материалов для звеньев редуктора и подсчет допустимых напряжений	3	10
5	Проектный расчёт редуктора	4	13
6	Определение геометрических параметров червячной передачи	4	15
7	Проверочный расчёт редуктора	5	18
8	Определение усилий в червячном зацеплении, выбор смазки	5	20
9	Проектирование ременной передачи	6	30
10	Выбор муфты	7	32
11	Проектный расчет валов редуктора	7	35
12	Конструирование червячного колеса	7	38
13	Подбор подшипников для валов редуктора	8	40
14	Эскизная компоновка редуктора	8	45
15	Составление расчетных схем валов и определение опорных реакций	9	47
16	Проверка работоспособности подшипников	9	50
17	Проверочный расчет валов редуктора	10	60
18	Конструирование корпуса редуктора	11	65
19	Оформление пояснительной записки	12	70
20	Разработка сборочного чертежа редуктора (A1), составление спецификации	14	85
21	Выполнение рабочих чертежей червячного колеса и тихоходного вала редуктора (2х A3)	15	100

Дунаев, П. Ф. Конструирование узлов и деталей машин / П. Ф. Дунаев, О. П. Леликов. – Москва: Академия, 2004. – 496 с.

Федоров, С. В. Детали машин. Раздел: «Выбор электродвигателя, кинематический и силовой расчет элементарного привода». Методическое пособие по курсовому проектированию / С. В. Федоров. – Калининград: КГТУ, 2011. – 16 с.

Шарков, О. В. Детали машин и основы конструирования: учебно-методическое пособие / О. В. Шарков. – Калининград: КГТУ, 2016. – 117 с.

Шейнблит, А. Е. Курсовое проектирование деталей машин / А. Е. Шейнблит. – Калининград: Янтарный сказ, 2002. – 454 с.

Задание выдал \_\_\_\_\_ проф. Федоров С. В. «\_\_» \_\_\_\_\_ 202\_\_ г.

**Образец оформления титульного листа курсового проекта**

Федеральное агентство по рыболовству  
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»  
Институт морских технологий, энергетики и строительства  
Кафедра теории механизмов и машин и деталей машин



Курсовой проект по дисциплине  
«Детали машин и основы конструирования»  
ПРИВОД ...  
пояснительная записка

КП.24.15.03.01. .ПЗ

Студент \_\_\_\_\_ группа –МС

Руководитель проекта \_\_\_\_\_ проф. Федоров С.В.

Калининград 202

**Экзаменационные вопросы по дисциплине**

1. Основные понятия: машина, механизм, деталь, сборочная единица. Классификация машин. Детали общего назначения.
2. Надежность и ее составляющие. Сущность проектного и проверочного расчетов. Привод и его состав.
3. Классификация и структура механизмов. Звенья, кинематические пары, кинематические цепи. Плоский рычажный механизм и его типовые звенья.
4. Классификация кинематических пар.
5. Структурный анализ механизма. Подвижность плоского и пространственного механизмов.
6. Понятие механической передачи, цели применения передач. Классификация механических передач.
7. Основные и производные характеристики механической передачи.
8. Зубчатые передачи. Классификация, достоинства и недостатки.
9. Основная теорема зацепления. Сопряженные профили.
10. Зубчатые передачи. Элементы и свойства эвольвентного зацепления.
11. Зубчатые передачи. Полус, линия и угол зацепления, коэффициент торцового перекрытия.
12. Параметры прямозубых цилиндрических колес. Передаточное отношение и передаточное число.
13. Параметры косозубых цилиндрических колес. Эквивалентное прямозубое колесо.
14. Коническая прямозубая передача и ее геометрические параметры. Передаточное отношение и передаточное число.
15. Коническая зубчатая передача. Эквивалентное цилиндрическое колесо. Передача с круговыми зубьями.
16. Силы в прямозубом и косозубом цилиндрическом зацеплении.
17. Силы в прямозубом коническом зацеплении.
18. Виды повреждений зубьев. Критерии работоспособности зубчатой передачи. Общий вид условий прочности.
19. Червячные передачи. Классификация, достоинства и недостатки.
20. Геометрические параметры червячной передачи.
21. Кинематика червячной передачи.
22. Усилия в червячном зацеплении.
23. Критерии работоспособности червячной передачи. Сущность проектного и проверочных расчетов.

24. Контактные напряжения в зубьях цилиндрической передачи.
  25. Контактные напряжения в зубьях конической прямозубой передачи.
  26. Контактные напряжения в зубьях червячного колеса.
  27. Оценка изгибной прочности зубьев.
  28. Ременная передача. Устройство, достоинства и недостатки, область применения.
  29. Геометрические параметры и кинематика ременной передачи.
  30. Упругое скольжение в ременной передаче.
  31. Силы в ременной передаче.
  32. Ременная передача. Напряжения в ремне.
  33. Цепная передача. Устройство, достоинства и недостатки, область применения.
  34. Геометрические параметры и кинематика цепной передачи.
  35. Усилия в цепной передаче.
  36. Неравномерность движения цепи.
  37. Критерии работоспособности цепной передачи.
  38. Назначение и классификация валов и осей. Особенности нагружения.
- Посадочные поверхности.
39. Критерии работоспособности валов и осей. Сущность проектного и проверочного расчета. Расчетные схемы валов одноступенчатого редуктора.
  40. Назначение и классификация подшипников.
  41. Конструктивные особенности подшипников скольжения, достоинства и недостатки, области применения.
  42. Режимы работы подшипников скольжения.
  43. Общее устройство подшипников качения, классификация, достоинства и недостатки.
  44. Размерные серии. Маркировка подшипников качения.
  45. Кинематика подшипника качения. Контактные напряжения в деталях подшипника.
  46. Классификация соединений деталей машин.
  47. Резьбовые соединения. Классификация и способы нанесения резьбы.
  48. Основные геометрические параметры метрической резьбы. Виды резьбовых соединений.
  49. Теория винтовой пары. Связь момента затяжки с осевым растяжением винта.
  50. Условие самоторможения резьбового соединения.
  51. КПД винтовой пары.
  52. Распределение осевой нагрузки по виткам резьбы.
  53. Прочность резьбового соединения.
  54. Способы сварки. Виды сварных соединений.



- 55. Прочность сварных соединений.
- 56. Соединения с натягом. Способы сборки.
- 57. Нагрузочная способность соединения с натягом.
- 58. Стандартизация и взаимозаменяемость. Номинальные и предельные размеры. Понятие допуска на размер.
- 59. Поле допуска и его обозначение. Качества точности. Виды посадок. Обозначения посадок в системе отверстия.

Локальный электронный методический материал

Владимир Георгиевич Сукиасов  
Сергей Васильевич Федоров

ДЕТАЛИ МАШИН И ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ

Редактор Э. С. Круглова

Уч.-изд. л. 3,6. Печ. л. 3,2

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Калининградский государственный технический университет».  
230022, Калининград, Советский проспект, 1