

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



В. Г. Сукиасов

Техническая механика

Учебно-методическое пособие
по изучению дисциплины для студентов, обучающихся в бакалавриате
по направлениям подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность,
20.03.02 Природообустройство и водопользование

Калининград
Издательство КГТУ
2022

УДК 531.8

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.

Техническая механика: учебно-методическое пособие по изучению дисциплины для студентов бакалавриата по направлениям подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность, 20.03.02 Природообустройство и водопользование / В. Г. Сукиасов. – Калининград: ФГБОУ ВО «КГТУ», 2022. – 66 с.

Учебно-методическое пособие подготовлено в соответствии с учебными планами и рабочими программами модулей и предназначено для бакалавров направлений подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность, 20.03.02 Природообустройство и водопользование.

Оно 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.

Табл. 2, список лит. – 6 наименований.

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины рекомендовано к изданию в качестве локального электронного методического материала для использования в учебном процессе методической комиссией Института морских технологий, энергетики и строительства 30.06.2022 г., протокол № 6

УДК 531.8

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

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	4
1 Тематический план лекционных занятий.....	10
2 Методические рекомендации по изучению дисциплины.....	10
Тема 1. Основы статики и кинематики абсолютно твердого тела.....	12
Тема 2. Кинетика движения точки и твердого тела	14
Тема 3. Исходные понятия и гипотезы сопротивления материалов. Напряжения и деформации.....	16
Тема 4. Растяжение-сжатие. Механические свойства материалов	18
Тема 5. Сдвиг и кручение. Геометрические характеристики плоских сечений.....	20
Тема 6. Описание напряженного и деформированного состояния. Изгиб прямых стержней	22
Тема 7. Критерии кратковременной и усталостной прочности. Расчеты по допускаемым напряжениям	25
Тема 8. Общие положения. Рычажные механизмы	27
Тема 9. Механические передачи.....	29
Тема 10. Геометрические параметры и кинематика зубчатой передачи.....	31
Тема 11. Прочность зубчатых колес	34
Тема 12. Червячная передача.....	38
Тема 13. Валы и оси. Подшипники.....	40
Тема 14. Муфты приводов. Резьбовые соединения	43
Тема 15. Неразъемные соединения. Допуски и посадки	46
3 Методические указания по самостоятельной работе студентов.....	50
Библиографический список	51
Приложение А. Задания и контрольные вопросы к лабораторным работам.....	52
Приложение Б. Образец оформления титульного листа отчета о лабораторных работах	55
Приложение В. Типовые задания на расчетно-графическую работу в 3 семестре.....	56
Приложение Г. Типовые задания на расчетно-графическую работу в 4 семестре	60
Приложение Д. Образец оформления титульного листа расчетно-графической работы	64
Экзаменационные вопросы по дисциплине.....	65

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Техническая механика» входит в ОПОП ВО по направлениям подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность, 20.03.02 Природообустройство и водопользование и изучается студентами в 3 и 4 семестрах.

Целью освоения дисциплины является формирование знаний, умений и навыков в области механики, а также компетенций в соответствии с требованиями ФГОС ВО.

Основные задачи освоения дисциплины:

- изучение основных понятий, аксиом, теорем и фундаментальных законов механики;
- приобретение знаний о способах описания отклика механической системы на внешние воздействия;
- приобретение знаний о сферах применения, устройстве, принципах действия, методах расчета и конструирования деталей и сборочных единиц общего назначения;
- формирование навыков анализа и синтеза простейших технических объектов.

В результате изучения дисциплины студент должен:

- **знать** основные законы технической механики и методы решения задач о движении и равновесии материальных объектов;
- **уметь** применять знания законов технической механики при проведении расчетов по типовым методикам и проектировании технологического оборудования в соответствии с техническим заданием;
- **владеть** стандартными методиками расчёта запаса прочности, устойчивости и надёжности типовых конструкций в условиях динамических и тепловых нагрузок с учетом новейших достижений техники, используя основные знания технической механики и стандартные средства автоматизации проектирования.

Дисциплина «Техническая механика» опирается на компетенции, знания, умения и навыки, полученные на предыдущем уровне при изучении таких дисциплин, как «Алгебра и геометрия», «Математический анализ», «Физика», «Инженерная и компьютерная графика».

Знания и навыки, полученные при освоении дисциплины «Техническая механика», позволят успешно изучать профессиональные дисциплины «Механика движения неоднородных сред», «Основы строительного дела», «Машины и оборудование для природообустройства и водопользования», «Гидротехнические сооружения», «Насосы и насосные станции», «Материаловедение», «Надёжность технических систем и техногенный риск»,

«Технологические процессы и производства пищевой промышленности», 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 расчетно-графическую работу (РГР);
- тестовые задания по темам дисциплины;
- контрольные вопросы к лабораторным работам.

Индивидуальные задания на РГР в 3 семестре включают 30 вариантов, каждый из которых состоит из трех задач по теоретической механике и трех задач по сопротивлению материалов. Цель РГР состоит в закреплении теоретических знаний, полученных при изучении дисциплины, а также в овладении практическими навыками решения простейших задач. Ключевые аспекты РГР рассматриваются на практических занятиях, в ходе решения подобных задач под руководством преподавателя. Непосредственное выполнение индивидуального задания, включая оформление пояснительной записки, осуществляется в процессе самостоятельной работы студента. Каждое выполненное задание подлежит защите в форме собеседования. В ходе собеседования студенту необходимо подтвердить самостоятельность выполнения работы путем ответов на вопросы по существу задания, используемых величин и теоретических положений. Работа оформляется на листах формата А4 в соответствии с требованиями стандартов для текстовых документов.

Оценка работы осуществляется по системе «зачтено» – «не зачтено», при этом учитываются следующие основные параметры:

- 1) полнота и правильность выполнения заданий;
- 2) способность квалифицированно отвечать на вопросы;
- 3) аккуратность оформления;
- 4) своевременность сдачи.

Критерий 1) предполагает наличие всех указанных в разделе 3 составляющих, при условии правильности построения и решения уравнений, а также отсутствия ошибок в вычислениях, в противном случае РГР возвращается студенту на доработку. Критерий 2) означает умение студента показать на схеме требуемые фрагменты и пояснить используемые теоретические положения, а также применить эти положения для элементарной задачи подобного содержания. По итогам защиты РГР оценка «зачтено» ставится в случае положительного решения как минимум по трем критериям, в том числе обязательно по критериям 1) и 2).

Индивидуальные задания на РГР в 4 семестре включают 10 схем, для каждой из которых предусмотрено 10 вариантов исходных данных. Цель РГР состоит в закреплении теоретических знаний, полученных при изучении дисциплины, а также в овладении практическими навыками анализа, расчёта и конструирования деталей, узлов и механизмов. Содержанием РГР является проектирование редуктора в составе привода общего или специального назначения. Разрабатываемая при этом документация включает текстовую часть в виде пояснительной записки и графическую часть, содержащую чертеж зубчатого либо червячного колеса редуктора. Ключевые аспекты РГР 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 РГР допускаются студенты, выполнившие все предусмотренные индивидуальным заданием этапы, при наличии полного комплекта документации. В процессе защиты РГР студенту необходимо уметь объяснить назначение и принцип действия привода, последовательность проработки задания, а также подтвердить владение методикой проектирования узлов и деталей машин. Основная цель защиты РГР – выявить степень самостоятельности выполнения работы студентом. По результатам защиты РГР выставляется оценка по системе «зачтено» – «не зачтено» с учетом следующих основных параметров:

- 1) полнота и правильность выполнения индивидуального задания;
- 2) соответствие подготовленной документации требованиям стандартов;
- 3) аккуратность оформления;
- 4) способность квалифицированно отвечать на вопросы по теме работы;
- 5) соблюдение установленных сроков готовности работы.

Критерий 1) предполагает наличие всех указанных в *Плане работы* индивидуального задания (см. Приложение Г) составляющих, при условии правильности использования справочных данных и отсутствия ошибок в вычислениях, в противном случае РГР возвращается студенту на доработку. Критерий 4) означает умение студента озвучить общее устройство привода, обосновать выбор электродвигателя, показать на схеме привода требуемые фрагменты, пояснить последовательность и суть отдельных этапов, а также смысл и единицы измерения используемых параметров. По итогам защиты РГР оценка «зачтено» ставится в случае положительного решения как минимум по трем критериям, в том числе обязательно по критериям 1) и 4).

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. Предусмотрено выполнение семи лабораторных работ. 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 в 4 семестре, относятся экзаменационные вопросы. Экзаменационный билет содержит два вопроса из перечня в Приложении Е по тематике, представленной в тематическом плане лекционных занятий в 4 семестре раздела 1.

К экзамену допускаются студенты:

- положительно аттестованные по результатам тестирования на практических занятиях;
- выполнившие и защитившие РГР;
- выполнившие и защитившие все лабораторные работы;
- получившие зачет в 3 семестре.

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	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
Критерии	«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 полнотой знаний и системным взглядом на изучаемый объект
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 задаче данные	В состоянии осуществлять систематический и научно-корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные поставленной задаче данные, предлагает новые ракурсы поставленной задачи

Система оценок Критерии	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
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 задаче данные	В состоянии осуществлять систематический и научно-корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные поставленной задаче 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, своевременно получившие допуск к экзамену, 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 РГР; образец оформления титульного листа РГР; экзаменационные вопросы по дисциплине.

1 ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН ЛЕКЦИОННЫХ ЗАНЯТИЙ

Номер темы	Название темы
3 семестр	
Тема 1	Основы статики и кинематики абсолютно твердого тела
Тема 2	Кинетика движения точки и твердого тела
Тема 3	Исходные понятия и гипотезы сопротивления материалов. Напряжения и деформации
Тема 4	Растяжение–сжатие. Механические свойства материалов
Тема 5	Сдвиг и кручение. Геометрические характеристики плоских сечений
Тема 6	Описание напряженного и деформированного состояния. Изгиб прямых стержней
Тема 7	Критерии кратковременной и усталостной прочности. Расчеты по допускаемым напряжениям
4 семестр	
Тема 8	Общие положения. Рычажные механизмы
Тема 9	Механические передачи
Тема 10	Геометрические параметры и кинематика зубчатой передачи
Номер темы	Название темы
Тема 11	Прочность зубчатых колес
Тема 12	Червячная передача
Тема 13	Валы и оси. Подшипники
Тема 14	Муфты приводов. Резьбовые соединения
Тема 15	Неразъемные соединения. Допуски и посадки

2 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Приступая к изучению дисциплины «Техническая механика», необходимо уяснить роль механики в развитии техники, а также цели и задачи изучения дисциплины. Осмысление понятия *модели* и ее необходимости для научного описания предметной области важно для понимания места теоретической механики и сопротивления материалов в общей структуре глобальной науки механики. В частности, использование простейших моделей *материальной точки* и *абсолютно твердого тела* в курсе теоретической механики дает возможность обнаружить наиболее общие закономерности движения материальных объектов.

Приступая к изучению 2-й части дисциплины «Техническая механика» в 4 семестре, следует обратить серьезное внимание на основные понятия, в том числе даваемые на вводной лекции: машина, деталь, сборочная единица, звено, кинематическая пара, механизм, надежность, износостойкость и т. д. Помимо уяснения и осмысления этих понятий потребуются также актуализация понятий, знакомых из 1-й части учебного курса, – сила, момент, мощность, напряжение,

деформация, прочность. 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, посадка, допуск 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 «Техническая механика» 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 в 3 семестре проводятся с целью дать студентам минимально необходимый набор сведений по теоретической механике и сопротивлению материалов. При чтении лекций материал делится на логические блоки в целях обеспечения взаимосвязи и преемственности изложения. Вначале рассматриваются базовые понятия и положения теоретической механики по разделам Статика, Кинематика и Динамика; эти сведения используются в дальнейшем при обсуждении наиболее существенных аспектов напряженного и деформированного состояния, а также прочности простейших объектов в рамках обзорного изучения сопротивления материалов.

Лекционные занятия в 4 семестре 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. Основы статики и кинематики абсолютно твердого тела

Ключевые вопросы темы:

1. Цель и задачи дисциплины. Место дисциплины в структуре образовательной программы. Рекомендуемая литература.

2. Основные понятия и аксиомы статики. Система сходящихся сил. Момент силы, пара сил. Реакции связей.

3. Приведение системы сил к центру. Главный вектор и главный момент, условия равновесия. Центр параллельных сил.

4. Кинематика точки, способы описания движения. Векторы скорости и ускорения. Поступательное движение. Вращение тела вокруг неподвижной оси.

Целевая установка: Освоение данной темы ориентировано на формирование первоначальных представлений о предмете изучаемой дисциплины и ее месте в структуре общеинженерной подготовки, а также о целях и средствах ее освоения. Среди целей – овладение терминологией, усвоение фундаментальных понятий и гипотез механики, а также наиболее общих положений статики и кинематики.

Рекомендуемая литература: [2, с. 12–19, 21–25, 60–68, 74–80].

Методические указания

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

«Техническая механика» представляет собой комплексную дисциплину и включает элементарные основы теоретической механики и сопротивления материалов, изучаемые в 3 семестре, а также сведения из курса деталей машин, изучаемые в 4 семестре.

Предметом изучения теоретической механики являются закономерности движения *абсолютно твердого тела*, в том числе условия равновесия под действием сил – в разделе *Статика*. Логическую основу статики составляет понятие силы как меры взаимодействия материальных тел. Овладение исходными понятиями и терминами о силах и системах сил важно для понимания сути *аксиом статики* и следствий из них.

Простейшим случаем является *система сходящихся сил*, которая приводится к *равнодействующей*; условия равновесия при этом формулируются самым элементарным образом. Рассмотрение более общих случаев действия на тело системы сил требует использования понятий *момента силы относительно точки* и *пары сил*. Важно осмыслить векторную природу моментов, а также основные свойства пары сил и тот факт, что единственная

количественная характеристика пары – это ее момент, который является *свободным вектором*.

Особое внимание необходимо обратить на идейные основы и суть операции приведения системы сил к заданному центру. Ее результатом является замена произвольной системы сил *главным вектором* и *главным моментом*, что позволяет сформулировать *условия равновесия*, в том числе в векторной и скалярной формах. Использование скалярной формы условий равновесия пространственной системы сил невозможно без осмысления понятия *момента силы относительно оси*. Важно уяснить, что эта величина не является векторной и характеризуется только численным значением со знаком «+» либо «-».

Условия равновесия и связанная с ними *теорема Вариньона* лежат в основе определения *центра параллельных сил*. Практическое приложение этих идей – возможность найти положение *центра тяжести* тела либо системы тел произвольной конфигурации.

Геометрические закономерности движения тел изучаются в разделе *Кинематика*. Простейшей моделью тела является *материальная точка*. При этом возможны два способа описания движения точки – *координатный* и *естественный*. Уяснение особенностей этих способов, а также понятий *закона движения*, *скорости* и *ускорения* необходимы для осмысленного восприятия положений кинематики. Среди таких положений – определение векторов скорости и ускорения точки по известному закону движения вдоль криволинейной траектории. Эти сведения важны для описания простейших случаев движения тела – поступательного и вращательного. В случае вращательного движения особое внимание следует обратить на связь кинематических характеристик, т. е. скорости и ускорения отдельных точек с характеристиками движения всего тела – угловой скоростью и угловым ускорением.

Вопросы для самопроверки

1. Что является предметом изучения теоретической механики?
2. Какие основные разделы включает теоретическая механика?
3. Какие бывают системы сил?
4. В чем разница равнодействующей и главного вектора системы сил?
5. В каких единицах измеряется момент пары сил?
6. Как направлен вектор момента силы относительно точки?
7. В чем состоит условие равновесия системы сходящихся сил?
8. Каким образом можно перенести силу в другую точку?
9. В чем заключаются условия равновесия системы сил в общем случае?

10. Сколько скалярных уравнений содержат условия равновесия плоской системы сил?

11. Сколько скалярных уравнений содержат условия равновесия пространственной системы сил?

12. В чем смысл теоремы Вариньона?

13. Что такое центр тяжести механической системы?

14. Какие существуют способы описания движения точки?

15. Как направлены векторы скорости и ускорения по отношению к криволинейной траектории движения точки?

16. Какие составляющие есть у полного ускорения при криволинейном движении точки? Как они направлены?

Тема 2. Кинетика движения точки и твердого тела

Ключевые вопросы темы:

1. Плоскопараллельное движение твердого тела, скорости и ускорения точек плоской фигуры, мгновенный центр скоростей.

2. Динамика точки, дифференциальные уравнения движения.

3. Кинетическая энергия системы. Работа и мощность сил, приложенных к вращающемуся телу. Теорема об изменении кинетической энергии системы.

Целевая установка: Результатом изучения данной темы должно стать дальнейшее освоение основ кинематики, а также формирование представлений о способах описания динамики точки и механической системы.

Рекомендуемая литература: [2, с. 10–11, 29–32, 44–45, 54–60, 80–83, 85–89, 96–97].

Методические указания

Описание кинематики плоскопараллельного движения базируется на ранее изученных сведениях. При этом необходимо осмыслить закон движения как комбинацию поступательного и вращательного движений, а также обоснование произвольности выбора *полюса*. Тогда нетрудно уяснить логику определения скоростей и ускорений точек плоской фигуры путем сложения соответствующих векторов для полюса и для данной точки в ее вращательном движении вокруг полюса. Такой способ непосредственно применяется при определении ускорений, в том числе с учетом тангенциальной и нормальной составляющих полного ускорения точки, вращающейся вокруг полюса. Для определения скоростей более эффективен иной подход, опирающийся на *теорему о проекциях скоростей* и понятие *мгновенного центра скоростей*.

Важно добиться понимания идей использования мгновенного центра скоростей, включая порядок определения его положения на плоскости.

Кинетика движения материальных объектов под действием сил изучается в разделе *Динамика*. Его идейную основу составляет 2-й закон Ньютона (основной закон динамики). Данный закон справедлив как для обособленной материальной точки, так и для любой точки в составе механической системы. Векторная запись этого закона в проекциях на оси координатной системы представляется в виде *дифференциальных уравнений движения* материальной точки. Следует обратить особое внимание на вид и смысловое содержание этих уравнений при координатном и естественном способах описания движения. Алгоритм решения задач динамики материальной точки предполагает интегрирование дифференциальных уравнений движения с последующим подчинением начальным условиям. Эти процедуры не потребуются, если пользоваться общими теоремами динамики. К их числу относится теорема об изменении кинетической энергии. В этой связи необходимо уяснить понятия *работы* и *мощности* силы, а также *кинетической энергии* движущейся точки, обратив внимание на размерность этих величин.

Взаимосвязанные материальные точки, составляющие механическую систему, подчиняются тем же общим закономерностям. При этом динамика системы существенным образом зависит от распределения масс в пространстве. Поэтому осмыслению подлежат понятия *центра масс* и *осевого момента инерции* системы. Стоит обратить внимание на определение положения центра масс, на размерность момента инерции и на теорему Гюйгенса о связи моментов инерции относительно двух параллельных осей, одна из которых проходит через центр масс системы.

Кинетическая энергия движущейся системы, в том числе тела конечных размеров, представляет собой сумму энергий всех точек. Непосредственное суммирование позволяет получить выражения кинетической энергии для случаев поступательного, вращательного и плоскопараллельного движения тела.

Принципиальное значение для описания динамики механической системы имеют теорема о движении центра масс и теорема об изменении кинетической энергии. Последняя может быть представлена в дифференциальной либо в интегральной форме, что позволяет рассматривать состояние движения не только мгновенное, но и на конечном промежутке времени. В связи с применением этой теоремы для анализа вращательного либо плоскопараллельного движения необходимо осмыслить выражения работы и мощности момента пары, попутно обратив внимание на размерность. Следует также иметь в виду, что для *неизменяемой системы* суммарная работа и мощность внутренних сил равны нулю, что упрощает формулировку теоремы.

Вопросы для самопроверки

1. Какое движение называется плоскопараллельным?
2. Как формулируется закон плоскопараллельного движения?
3. В чем суть теоремы о проекциях скоростей?
4. Что такое мгновенный центр скоростей?
5. Как найти положение мгновенного центра скоростей по известным скоростям двух точек плоской фигуры?
6. Как формулируется основной закон динамики материальной точки?
7. Как выглядит скалярная форма основного закона динамики при естественном способе описания движения точки?
8. Как определяется кинетическая энергия движущейся точки?
9. В каких единицах измеряются работа и мощность?
10. Как подсчитать работу момента, приложенного к вращающемуся телу?
11. Как определяется положение центра масс механической системы?
12. В каких единицах измерен осевой момент инерции тела?
13. Какой вывод следует из теоремы Гюйгенса о моментах инерции тела относительно параллельных осей?
14. В чем заключается теорема о движении центра масс механической системы?
15. Как формулируется теорема об изменении кинетической энергии системы в дифференциальной форме?
16. Как формулируется теорема об изменении кинетической энергии системы в интегральной форме?

Тема 3. Исходные понятия и гипотезы сопротивления материалов. Напряжения и деформации

Ключевые вопросы темы:

1. Понятия прочности, жесткости, устойчивости. Расчетные схемы. Модели геометрии, нагрузок, материала, разрушения.
2. Силы внешние и внутренние. Метод сечений. Вектор напряжения и его составляющие.
3. Напряженное состояние в точке нагруженного тела.
4. Понятие о деформированном состоянии. Относительные удлинения и сдвиги, относительное изменение объема.

Целевая установка: Изучение данной темы ориентировано на усвоение исходных понятий и принципов сопротивления материалов, а также соответствующей терминологии. Студентам следует уяснить суть основных

положений о напряженном и деформированном состояниях нагруженного тела.

Рекомендуемая литература: [1, с. 27–35; 3, с. 6–19].

Методические указания

Данная тема открывает ту часть учебной дисциплины, где рассматриваются сведения из сопротивления материалов. Сопромат – наука об инженерных методах расчета конструкций на *прочность, жесткость и устойчивость*. Эти базовые понятия подлежат безусловному усвоению. Объект изучения – *деформируемое тело*, что принципиально отличается от абсолютно твердого тела в теоретической механике. Инженерные методы расчета подразумевают упрощенные (в допустимых пределах) подходы, удобные для практического использования и примененные к простейшим моделям, главным образом стержневым. В этой связи уяснение идей и целей *моделирования* является вполне уместным. Осмыслению также подлежат исходные гипотезы – сплошности, идеальной упругости, однородности, малости деформаций и перемещений, линейной связи деформаций с перемещениями и напряжений с деформациями. Опора на эти гипотезы позволяет в дальнейшем использовать важный *принцип суперпозиции*, утверждающий, что эффект от действия на тело нескольких нагрузок равен сумме эффектов от каждой из них в отдельности.

Прочность, жесткость и устойчивость в разных аспектах характеризуют способность деформируемого тела сопротивляться внешним нагрузкам. Уяснив классификацию внешних нагрузок, следует иметь в виду, что эти нагрузки вызывают появление реакций – внутренних усилий в нагруженном теле. Изучение внутренних усилий основано на *методе сечений*, а их количественной мерой являются *механические напряжения*. Для усвоения этих идей важно осмыслить понятия *вектора напряжения* и *напряженного состояния* в точке нагруженного тела. Вектор напряжения может быть представлен своими проекциями на оси координат либо в виде совокупности нормальной и касательной составляющих. В любом случае квадрат полного напряжения равен сумме квадратов его проекций. Следует также обратить внимание на единицы измерения напряжений.

Действие внешних нагрузок на тело вызывает его деформирование – изменение размеров и искажение формы за счет изменения длин элементарных материальных отрезков, а также углов между ними. Необходимо четко уяснить принципы количественного описания этих эффектов величинами *относительных удлинений* и *сдвигов*, а также *относительного изменения объема*. Упомянутые величины безразмерны по определению.

Вопросы для самопроверки

1. Что означает понятие прочности?
2. Что означает понятие жесткости?
3. В чем смысл гипотезы сплошности?
4. В чем состоит принцип суперпозиции?
5. Как классифицируются внешние силы, действующие на тело?
6. В чем состоит идея метода сечений?
7. Что такое напряженное состояние в точке нагруженного тела?
8. В каких единицах измеряется механическое напряжение?
9. Как найти величину напряжения по его компонентам?
10. Какими величинами описывается деформирование тела?

Тема 4. Растяжение–сжатие. Механические свойства материалов

Ключевые вопросы темы:

1. Стержень под осевой нагрузкой, эпюры продольных усилий.
2. Закон Гука при растяжении–сжатии, упругие постоянные.
3. Жесткость стержня на растяжение–сжатие. Температурные деформации. Статически неопределимые системы.
4. Диаграмма деформирования при растяжении и ее характерные точки. Работа деформации. Пределы текучести и кратковременной прочности, твердость материала.
5. Факторы, влияющие на прочность.

Целевая установка: Результатом изучения данной темы должно стать формирование представлений об описании продольного деформирования стержней, а также о получаемых экспериментально механических характеристиках материала. Студентам следует уяснить характер влияния различных факторов на способность тела выдерживать внешнюю нагрузку.

Рекомендуемая литература: [1, с. 35–38, 42–46; 3, с. 20–34, 36–38].

Методические указания

Одноосное растяжение и сжатие представляют собой простейшие случаи напряженного состояния. При осевой нагрузке нормальные напряжения в любом поперечном сечении стержня распределены равномерно, поэтому построение эпюры продольных усилий вдоль оси стержня заданной геометрии позволяет полностью описать его напряженное состояние. Для этой цели применяется метод сечений, реализация которого в данном случае имеет наиболее элементарную форму и подлежит осмыслению. Построение эпюры

может начинаться с любой стороны стержня, при этом следует помнить, что в случае ее начала от закрепленного торца необходимо предварительно найти на этом торце реактивную силу.

Закон Гука при одноосном растяжении–сжатии выражает пропорциональность относительного удлинения в осевом направлении и нормального напряжения в поперечном сечении стержня. Эта пропорциональность устанавливается посредством *модуля упругости*. При этом относительное удлинение в поперечном направлении имеет противоположный знак и связано с продольным удлинением *коэффициентом Пуассона*. Следует усвоить размерность модуля упругости и диапазон значений коэффициента Пуассона. Эти две величины полностью определяют упругие свойства изотропного материала.

Справедливость закона Гука при осевом растяжении означает пропорциональность продольной силы и относительного удлинения стержня. Коэффициент пропорциональности – *жесткость стержня на растяжение–сжатие*. Следует иметь в виду, что причиной деформирования может быть не только силовое воздействие, но и термическое. В таком случае относительное удлинение стержня будет включать силовую и температурную составляющие. Учет деформаций может потребоваться при построении эпюры продольных усилий в стержне, если оба его торца закреплены. Такой стержень представляет *статически неопределимую систему*, поскольку единственного уравнения статики, выражающего баланс сил вдоль оси, недостаточно для отыскания двух реакций на торцах. Поэтому приходится дополнительно задействовать условие, выражающее удлинение стержня.

Одноосное растяжение является простейшим и наиболее доступным способом испытаний с целью определения механических свойств материала. Графическим результатом подобного испытания является *диаграмма деформирования*. Особое внимание следует обратить на то, в каких координатах строится диаграмма, какие участки и характерные точки на ней имеются. В частности, необходимо уяснить смысл и размерность таких величин, как *предел текучести* и *предел прочности*.

Прочность, т. е. способность выдержать нагрузку и не разрушиться зависит от целого ряда факторов. Важно осмыслить характер влияния на прочность температуры, режима нагружения, твердости материала, масштабного фактора, концентрации напряжений, вида напряженного состояния.

Вопросы для самопроверки

1. Как распределены напряжения в поперечном сечении растянутого стержня?

2. Как формулируется закон Гука при одноосном растяжении-сжатии?
3. Сколько независимых параметров характеризует упругие свойства изотропного материала?
4. В каких единицах измерен модуль упругости?
5. В каких единицах измерен коэффициент Пуассона?
6. Какие числовые значения возможны для коэффициента Пуассона?
7. Каким образом строится диаграмма деформирования?
8. В каких координатах строится диаграмма деформирования?
9. Какие характерные точки имеются на диаграмме деформирования?
10. В каких единицах измерен предел текучести?
11. Как выглядит траектория разгрузки образца на диаграмме деформирования?
12. От каких факторов зависит прочность объекта?

Тема 5. Сдвиг и кручение. Геометрические характеристики плоских сечений

Ключевые вопросы темы:

1. Чистый сдвиг, закон парности касательных напряжений.
2. Закон Гука при чистом сдвиге, модуль сдвига.
3. Эпюры крутящих моментов.
4. Кручение круглого стержня, гипотеза плоских сечений, относительный угол закручивания.
5. Напряжения и деформации при кручении. Жесткость на кручение.
6. Центр тяжести и статический момент плоской фигуры.
7. Моменты инерции: осевой, центробежный, полярный. Главные центральные оси инерции.

Целевая установка: Данная тема ориентирована на формирование представлений об особенностях описания чистого сдвига, в том числе для случая кручения круглых стержней. Студентам необходимо усвоить смысл и правила подсчета геометрических характеристик плоских сечений.

Рекомендуемая литература: [1, с. 52–58, 75–78; 3, с. 42–45, 50–55, 58–63].

Методические указания

Наряду с одноосным растяжением–сжатием чистый сдвиг представляет собой простое напряженное состояние, когда среди координатных компонент отличны от нуля только две – касательные напряжения на смежных площадках, численно равные друг другу по закону парности касательных напряжений.

Откликом материала на действие касательных напряжений являются сдвиговые деформации, в связи с чем необходимо осмыслить понятие *угла сдвига*. При упругом деформировании угол сдвига пропорционален касательному напряжению согласно закону Гука. Стоит обратить внимание, что *модуль сдвига* в законе Гука не является дополнительной независимой характеристикой упругих свойств, поскольку однозначно зависит от модуля упругости и коэффициента Пуассона.

Состояние чистого сдвига реализуется при кручении круглого стержня торцевыми моментами. В этом случае в любом поперечном сечении величина крутящего момента такая же, как на торцах. Зависимость крутящего момента от положения поперечного сечения возможна при наличии внешних моментов, приложенных к стержню в пределах его длины. Тогда возникает необходимость построения эпюры крутящих моментов вдоль оси стержня, для чего используется метод сечений. Порядок действий при этом такой же, как и в случае продольного растяжения–сжатия. Полученное распределение крутящих моментов вдоль оси стержня дает возможность определять углы поворота отдельных сечений, а также находить опасные сечения.

Необходимо уяснить суть *гипотезы плоских сечений*, которая справедлива для круглого стержня и лежит в основе определения деформаций и напряжений при кручении. В результате оказывается, что касательные напряжения в поперечном сечении стержня направлены перпендикулярно радиусу и при упругом деформировании распределены вдоль радиуса линейно. Следует также обратить внимание, что *жесткость на кручение* стержня по смыслу аналогична встречавшейся ранее жесткости на растяжение–сжатие, но в данном случае это коэффициент пропорциональности между крутящим моментом и *относительным углом закручивания*.

Определение напряжений в поперечном сечении стержня в зависимости от внешней нагрузки требует учета геометрических характеристик сечения. В случае осевого растяжения–сжатия это площадь сечения. Зависимость касательных напряжений в стержне от величины крутящего момента содержит *полярный момент инерции*. Относительно двух взаимно перпендикулярных осей в той же плоскости могут быть найдены *осевые моменты инерции*, в сумме равные полярному моменту, а также *центробежный момент инерции*. Порядок подсчета и размерность этих величин, а также *статического момента* подлежат осмыслению. Важно усвоить понятие *главных осей инерции*, а также правила преобразования осевых моментов инерции при повороте осей координат в плоскости фигуры. Стоит также обратить внимание на экстремальные свойства осевых моментов инерции относительно главных осей. Главные оси, проходящие через центр тяжести плоской фигуры, – *главные центральные оси инерции* (ГЦОИ). У симметричной фигуры ось симметрии

всегда является ГЦОИ.

Сведения о геометрических характеристиках плоских сечений существенным образом используются в дальнейшем, при изучении изгиба прямых стержней.

Вопросы для самопроверки

1. В чем состоит закон парности касательных напряжений?
2. Как формулируется закон Гука для касательных напряжений?
3. В каких единицах измерен модуль сдвига?
4. В чем состоит гипотеза плоских сечений при кручении круглого стержня?
5. В каких единицах измерен относительный угол закручивания?
6. Как направлен вектор напряжения в поперечном сечении круглого стержня при кручении?
7. Как распределены напряжения в поперечном сечении круглого стержня при кручении?
8. Как подсчитать жесткость на кручение? Какие величины она связывает?
9. Как определяются координаты центра тяжести плоской фигуры?
10. Как связаны между собой полярный и осевые моменты инерции плоской фигуры?
11. В каких единицах измерены моменты инерции плоской фигуры?
12. Что такое главные оси инерции плоской фигуры?
13. Как ориентированы главные оси инерции симметричной плоской фигуры?

Тема 6. Описание напряженного и деформированного состояния. Изгиб прямых стержней

Ключевые вопросы темы:

1. Сложное напряженное состояние, координатные компоненты.
2. Обобщенный закон Гука.
3. Главные напряжения и главные удлинения.
4. Концентрация напряжений, теоретический и эффективный коэффициенты концентрации.
5. Плоский изгиб стержня, реакции в опорах, эпюры изгибающих моментов и перерезывающих усилий.

6. Чистый изгиб, гипотеза плоских сечений. Нормальные напряжения при изгибе, изгибная жесткость.

7. Поперечный изгиб, касательные напряжения при изгибе.

8. Статически неопределимые системы. Уравнение изогнутой оси.

Целевая установка: Результатом изучения данной темы должно стать усвоение ключевых сведений о напряженном и деформированном состояниях, а также формирование системных представлений об описании деформаций и напряженного состояния прямых стержней в условиях чистого и поперечного изгиба.

Рекомендуемая литература: [1, с. 59–60, 62, 67–74, 79–80, 82–83; 3, с. 71–89, 95–101].

Методические указания

Понятие о напряженном состоянии, уже упомянутом в начале рассмотрения основ сопротивления материалов, имеет принципиальное значение для теоретической оценки прочности тел и конструкций. Возникая как реакция на внешние воздействия, напряженное состояние в любой точке нагруженного тела характеризуется множеством векторов напряжения на всевозможных площадках, проходящих через данную точку. Сложность этого описания обусловлена бесконечным числом таких площадок. Между тем вектор напряжения на любой из них может быть однозначно найден по заданным напряжениям на трех координатных площадках в данной точке. Это значит, что напряженное состояние в точке тела полностью определено, если известны 9 координатных компонент напряжений, а с учетом парности касательных напряжений независимых компонент только 6.

Подобным образом три относительных удлинения вдоль координатных осей и три угла сдвига между соответствующими направлениями в совокупности полностью описывают *деформированное состояние* в окрестности данной точки, включая возможность подсчета относительного изменения объема.

Кроме рассмотренных ранее одноосного растяжения–сжатия и чистого сдвига, во всех прочих случаях имеет место *сложное напряженное состояние*. Связь между упругими деформациями и напряжениями при сложном напряженном состоянии описывается обобщенным законом Гука, который для изотропного материала содержит две упругие характеристики.

При описании напряженного и деформированного состояний важное значение имеют понятия *главных напряжений* и *главных удлинений*. Их осмысление необходимо, в числе прочего, для понимания подходов к оценке прочности. Существенное влияние на прочность конструкций оказывает

концентрация напряжений. В этой связи стоит обратить внимание на смысл *теоретического* и *эффективного* коэффициентов концентрации.

Стержневая модель является простейшей среди геометрических моделей и поэтому наиболее употребительна в сопротивлении материалов. При этом деформирование многих реальных конструкций с той или иной степенью адекватности может быть описано по схеме изгиба прямых стержней. Важно четко различать понятия *чистого* и *поперечного изгиба*, что связано с характером внешней нагрузки на стержень.

Основу описания чистого изгиба составляет гипотеза плоских сечений. Из нее непосредственно следует линейное по высоте сечения распределение деформаций, а при справедливости закона Гука – и нормальных напряжений. Эти напряжения в любом поперечном сечении суммарно приводятся к изгибающему моменту, величина которого одинакова для всех сечений, включая торцевые. В пределах сечения наибольшие нормальные напряжения имеют место в самых удаленных от нейтральной плоскости точках, в связи с чем вводится еще одна геометрическая характеристика сечения – момент сопротивления.

В отличие от чистого изгиба, при поперечном изгибе помимо нормальных напряжений в сечении стержня есть и касательные напряжения, приводящиеся суммарно к перерезывающей силе. Эти напряжения распределены квадратично по высоте сечения, с нулевыми значениями в крайних точках и максимумом в центре. Следует иметь в виду, что для нормальных напряжений остается прежняя связь с изгибающим моментом, однако теперь величина момента зависит от положения поперечного сечения. Поэтому найти напряжения и деформации стержня в случае поперечного изгиба можно только после определения зависимостей перерезывающей силы и изгибающего момента от осевой координаты. При этом следует помнить, что непосредственному построению эпюр усилий и моментов по длине стержня должно предшествовать определение реакций опор, исключая случай консольного закрепления. Особое внимание необходимо обратить на процедуру построения эпюры изгибающих моментов при наличии распределенной поперечной нагрузки на стержень.

Реакции опор определяются из условий равновесия стержня, что возможно для статически определимой системы. Если количество неизвестных реакций больше числа уравнений статики, система становится статически неопределимой. В таком случае дополнительно потребуется учет кинематических соотношений. Результатом является уравнение изогнутой оси, представляющее собой дифференциальное уравнение относительно прогиба стержня. Его интегрирование и подчинение решения краевым условиям дает

возможность найти распределение прогиба вдоль длины стержня, откуда определяются деформации и напряжения.

Вопросы для самопроверки

1. Сколько существует независимых координатных компонент напряженного состояния?
2. Какими величинами описывается деформированное состояние?
3. Как формулируется обобщенный закон Гука для изотропного материала?
4. Какие напряжения называются главными?
5. Что такое главные удлинения?
6. Что такое концентрация напряжений?
7. Как определяется теоретический коэффициент концентрации?
8. Как определяется эффективный коэффициент концентрации?
9. В чем разница между чистым и поперечным изгибом?
10. В чем заключается гипотеза плоских сечений при изгибе стержня?
11. Как распределены нормальные напряжения по высоте сечения упругого стержня при изгибе?
12. Как распределены касательные напряжения по высоте сечения стержня при поперечном изгибе?
13. В каких единицах измерен момент сопротивления сечения стержня?
14. Какая система статически неопределима?
15. Что из себя представляет уравнение изогнутой оси?

Тема 7. Критерии кратковременной и усталостной прочности. Расчеты по допускаемым напряжениям

Ключевые вопросы темы:

1. Задачи механических теорий прочности. Эквивалентные напряжения.
2. Допускаемые напряжения, коэффициент запаса. Решение задач анализа, синтеза, надежности, долговечности.
3. Прочность стержня при растяжении–сжатии, при изгибе, при кручении.
4. Циклические нагрузки, многоцикловая усталость, характеристики цикла. Кривая усталости. Предел выносливости.
5. Влияние конструктивно-технологических факторов на сопротивление усталости, поправочные коэффициенты.

Целевая установка: Изучение данной темы ориентировано на усвоение идейных основ простейших теорий прочности и формирование представлений

об инженерных подходах к оценке прочности конструкций при различных режимах нагружения.

Рекомендуемая литература: [1, с. 50–51, 63–66; 3, с. 35–36, 101–103, 121–129].

Методические указания

Прочность реального технического объекта можно оценить экспериментально – путем испытания до разрушения. Однако такой путь не может быть признан рациональным и непригоден для массового применения. Научный подход предполагает возможность теоретического прогнозирования прочности, что и является главной задачей науки о сопротивлении материалов. Этот прогноз основывается на данных о напряженном состоянии конструкции и свойствах материала, а также на использовании тех или иных моделей разрушения, т. е. теорий прочности.

Простейший инженерный способ оценки прочности – *расчет по допускаемым напряжениям*. Важно понять его идеи, в том числе возможные постановки задачи и смысл *коэффициента запаса прочности*. Расчет производится для опасных точек, в которых напряжение достигает наибольших значений, при этом опасные точки выбираются в наиболее нагруженных сечениях. В случае растяжения–сжатия нормальные напряжения одинаковы по всему сечению; при кручении касательные напряжения максимальны на контуре сечения; при поперечном изгибе опасные точки в сечении – наиболее удаленные от нейтральной поверхности, где нормальные напряжения максимальны, а касательные равны нулю. Во всех этих случаях имеет место простое напряженное состояние, поэтому логика оценки прочности довольно очевидна: наибольшее расчетное напряжение сравнивается с допускаемым. При этом допускаемое напряжение зависит от предельного напряжения, характеризующего прочностные свойства данного материала при данной температуре и режиме нагружения. В свою очередь предельное напряжение, например, предел прочности, определяется в результате простейших испытаний образцов – одноосного растяжения либо чистого сдвига. Поэтому описанный выше подход к оценке прочности неприменим при сложном напряженном состоянии. В этом случае возникает необходимость использования одной из теорий прочности.

При рассмотрении теорий прочности важно в первую очередь осмыслить их задачи и, соответственно, понятие *эквивалентного напряжения*, а также основные представления о характере разрушения. Каждая из простейших теорий основана на гипотезе о преимущественном влиянии на прочность одного конкретного фактора.

Абсолютное большинство разрушений в технике носит усталостный характер, т. е. обусловлено действием циклических нагрузок. В таком случае параметры напряженного состояния в любой точке изменяются циклически, что описывают *характеристики цикла*, смысл которых подлежит уяснению. Чаще всего имеет место *многоцикловая усталость*, когда амплитуда напряжений меньше предела текучести, т. е. в пределах цикла деформирование упругое. Для понимания особенностей усталостного разрушения следует обратить внимание на *кривую усталости* и прочностную характеристику материала – *предел выносливости*. По сравнению с кратковременной прочностью усталостная прочность конструкций гораздо чувствительнее к концентрации напряжений, что требует обязательного учета при прогнозировании разрушения. Следует уяснить роль и место в расчетных формулах коэффициентов, отражающих влияние концентрации напряжений, а также масштабного фактора и качества поверхности, на способность конструкции противостоять циклическим нагрузкам.

Вопросы для самопроверки

1. В чем заключается расчет по допускаемым напряжениям?
2. Для чего требуется коэффициент запаса прочности?
3. В чем смысл задач анализа, синтеза, надежности, долговечности?
4. Для чего необходимы теории прочности?
5. В чем смысл эквивалентного напряжения?
6. Какие существуют теории прочности?
7. В чем проявляется многоцикловая усталость материала?
8. Как определяются амплитуда и среднее напряжение цикла?
9. Как определяется коэффициент асимметрии цикла?
10. Какой цикл называется пульсирующим?
11. Каким образом получается кривая усталости?
12. В каких координатах строится кривая усталости?
13. Что такое предел выносливости?
14. Какие факторы влияют на усталостную прочность?

Тема 8. Общие положения. Рычажные механизмы

Ключевые вопросы темы:

1. Основные понятия: машина, механизм, деталь, сборочная единица.
2. Классификация машин.
3. Надежность и ее составляющие, работоспособность машины.
4. Сущность проектного и проверочного расчетов.
5. Классификация и структура механизмов.

6. Звенья, кинематические пары, кинематические цепи. Классификация кинематических пар.

7. Плоский рычажный механизм и его типовые звенья.

8. Структурный анализ рычажных механизмов. Подвижность плоского и пространственного механизмов.

Целевая установка: Изучение данной темы ориентировано на овладение технической терминологией, усвоение понятий о машинах, их функциональном назначении, многообразии и критериях оценки их совершенства. Студентам надлежит получить представление о назначении и классификации механизмов, а также о средствах формализации их структуры.

Рекомендуемая литература: [1, с. 4–10, 13, 110–112; 4, с. 5–19; 5, с. 5–16; 6, с. 4–11, 15–16, 215–217].

Методические указания

Во второй части учебного курса 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.

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.

В состав любой машины входят *механизмы*, поэтому для понимания работы машины и оценки ее функциональных возможностей необходимо умение анализировать структуру механизмов. Это, в свою очередь требует уяснения понятий о *звеньях, кинематических парах и кинематических цепях*, а также о принципах их классификации. При рассмотрении простейших механизмов важно усвоить правила построения структурных схем, а также понять смысл формул Чебышева и Сомова–Малышева для определения *подвижности* механизма.

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 означает понятие надежности? Каким образом ее можно оценить количественно?
5. Какие составляющие включает надежность машины?
6. В чем сущность проектного и проверочного расчетов?
7. Из чего состоит механизм? Какие бывают механизмы?
8. Как классифицируются кинематические цепи?
9. Как определяется класс кинематической пары?
10. Что из себя представляет структурная схема механизма?
11. В чем состоит структурный анализ механизма?
12. Что такое подвижность механизма?
13. Какие бывают дефекты структуры механизма?
14. Как подсчитать подвижность плоского механизма?
15. Как подсчитать подвижность пространственного механизма?

Тема 9. Механические передачи

Ключевые вопросы темы:

1. Назначение и классификация механических передач.
2. Основные и производные характеристики передачи.
3. Фрикционные передачи.
4. Классификация зубчатых передач.
5. Основная теорема зацепления.
6. Элементы и свойства эвольвентного зацепления.

Целевая установка: Результатом изучения данной темы должно стать осмысление фундаментальных понятий о механических передачах и их характеристиках, а также дальнейшее освоение технической терминологии. Студентам следует уяснить теоретические основы функционирования зубчатых передач.

Рекомендуемая литература: [1, с. 122–124, 143–146; 5, с. 78–80; 6, с. 251–256, 263–264].

Методические указания

При рассмотрении раздела о механических передачах первоочередное значение имеет понимание целей их применения и принципов 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). Эти понятия являются фундаментальными и требуют безоговорочного усвоения. Следует также обратить внимание на единицы измерения упомянутых величин, на обоснование подсчета производных характеристик многоступенчатой передачи по известным параметрам отдельных ступеней.

Фрикционная передача имеет самое элементарное устройство, но из-за низкой нагрузочной способности и непостоянства передаточного отношения практически не применяется в силовых приводах. Тем не менее рассмотрение этой передачи имеет смысл как промежуточный этап для лучшего понимания закономерностей работы других типов передач.

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 необходимо для успешного освоения всего учебного материала о механических передачах. В частности, стоит обратить внимание на условия совместного движения сопряженных профилей и соотношения между геометрическими фигурами при доказательстве теоремы. 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.

Вопросы для самопроверки

1. Для каких целей предназначена механическая передача?
2. Как классифицируются механические передачи?

3. Каковы основные характеристики передачи? В каких единицах измеряются эти величины?

4. Как определяются производные характеристики одноступенчатой передачи?

5. Как подсчитать производные характеристики многоступенчатой передачи по известным параметрам отдельных ступеней?

6. Каковы положительные и отрицательные свойства фрикционной передачи?

7. Как классифицируются зубчатые передачи?

8. Какие профили называются сопряженными?

9. В чем суть основной теоремы зацепления?

10. Какое требование к геометрии сопряженных профилей вытекает из основной теоремы зацепления?

11. Что такое эвольвента?

12. Какими свойствами обладает эвольвента?

Тема 10. Геометрические параметры и кинематика зубчатой передачи

Ключевые вопросы темы:

1. Полнос, линия и угол зацепления.

2. Модуль зацепления, передаточное отношение, межосевое расстояние цилиндрической передачи.

3. Параметры косозубых цилиндрических колес. Эквивалентное прямозубое колесо.

4. Коническая зубчатая передача и ее геометрические параметры. Эквивалентное цилиндрическое колесо.

Целевая установка: Изучение данной темы должно привести к усвоению сведений о геометрических параметрах и кинематике, объясняющих работу цилиндрической и конической зубчатых передач. Это должно стать основой для осмысленного применения студентами расчетных методик в ходе выполнения РГР.

Рекомендуемая литература: [1, с. 148–150, 154–158; 5, с. 81–88; 6, с. 265–269].

Методические указания

При рассмотрении данной темы ключевое 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.

Самое 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. Поскольку пара колес в зацеплении характеризуется общим значением модуля, передаточное отношение, выраженное отношением начальных диаметров колеса и шестерни (при отсутствии смещения совпадающих с делительными диаметрами), сводится к отношению чисел зубьев колеса и шестерни, которое называется *передаточным числом*. Таким образом, имеет место равенство числовых значений передаточного отношения и передаточного числа.

Косозубые цилиндрические передачи имеют преимущество перед прямозубыми за счет более плавного зацепления и более высокой нагрузочной способности. Появляющийся недостаток в виде дополнительной осевой силы в зацеплении может быть нейтрализован применением шевронных колес либо раздвоенных ступеней в схеме редуктора. 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 имеются 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. При этом надо четко различать смысл этих двух величин, поскольку передаточное отношение представляет собой кинематическую характеристику (отношение скоростей вращения валов), а передаточное число – характеристику конструктивную (отношение чисел зубьев сопряженных колес).

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.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое линия и угол зацепления?
2. Какие окружности называются начальными и делительными? Что у них общего и в чем различие?

3. Как определяется и что характеризует коэффициент торцового перекрытия?

4. Что такое модуль зацепления? Какие значения он может принимать и в каких единицах измеряется?

5. Какие геометрические параметры цилиндрической зубчатой передачи и каким образом зависят от модуля зацепления?

6. В чем преимущество косозубых колес по сравнению с прямозубыми?

7. Как определяются окружной и нормальный модули косозубого колеса? Какой из них является стандартным?

8. Как определяются делительный диаметр и число зубьев эквивалентного прямозубого колеса?

9. Как связаны передаточное отношение и передаточное число с геометрическими параметрами цилиндрической зубчатой передачи?

10. Каково взаимное расположение валов конической зубчатой передачи?

11. Какой из модулей прямозубой конической передачи является стандартным?

12. Какие геометрические параметры конической прямозубой передачи используются при силовом анализе?

13. Как связаны передаточное отношение и передаточное число с геометрическими параметрами конической зубчатой передачи?

14. Чему равно межосевое расстояние эквивалентной цилиндрической передачи?

15. Как связаны передаточные отношения конической зубчатой передачи и эквивалентной цилиндрической?

Тема 11. Прочность зубчатых колес

Ключевые вопросы темы:

1. Особенности нагружения зубчатой передачи. Виды повреждений зубьев. Критерии работоспособности зубчатой передачи.

2. Силы в цилиндрическом и коническом зацеплении.

3. Напряженное состояние зуба под действием контактной и изгибающей нагрузок.

4. Общий вид условий прочности. Проектный и проверочный расчеты 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 РГР.

Рекомендуемая литература: [1, с. 161–169; 5, с. 85, 88–89; 6, с. 270–277].

Методические указания

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.

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, в связи с чем необходима актуализация понятия прочности, рассмотренного в первой части курса. Прочность передачи определяется прочностью зубьев шестерни и колеса в условиях действия циклических нагрузок. Выкрашивание рабочих поверхностей обусловлено контактными напряжениями σ_H в зоне соприкосновения зубьев; излом является следствием изгибных напряжений σ_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 σ_e – эквивалентное напряжение, учитывающее в общем случае сложное напряженное состояние согласно используемой теории прочности. Правая часть неравенства – допускаемое напряжение $[\sigma] = \sigma^*/s$, где σ^* – предельное напряжение для данного материала при одноосном напряжении; $s > 1$ – коэффициент запаса, назначаемый директивно для подстраховки от неучтенных факторов. Неравенство проверяется в опасных точках, где σ_e достигает максимальных значений. Поскольку σ_H и σ_F

локализованы в удаленных друг от друга зонах зуба, т. е. не оказывают взаимного влияния, в условии прочности для окрестности точки контакта σ_e имеет смысл σ_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 прямозубых 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 основной геометрической характеристики, т. е. межосевого расстояния цилиндрической передачи либо внешнего делительного диаметра колеса конической 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 σ_F при выполнении проверочного расчета на изгибную прочность. Благодаря геометрическому подобию зубьев разных модулей выражение σ_F приводится к компактной записи, содержащей безразмерный коэффициент формы зуба.

Вопросы для самопроверки

1. Как найти величину окружной силы в зацеплении цилиндрической зубчатой передачи?
2. Как найти полную величину силы в косозубом зацеплении цилиндрической передачи?
3. Как найти величину окружной силы в зацеплении конической зубчатой передачи?
4. Как найти полную величину силы в зацеплении прямозубой конической передачи?
5. Как направлены осевые силы в зацеплении конической зубчатой передачи?
6. Каков характер нагрузки на зубья зубчатых колес?
7. По каким причинам возможен выход из строя зубчатых колес?
8. Какой из критериев лежит в основе проектного расчета зубчатой передачи?
9. Как в общем виде выглядит условие прочности зуба?
10. На каком решении основано определение контактных напряжений в зубьях колеса?
11. В какой зоне зуба локализуются контактные напряжения?
12. В какой зоне зуба локализуются изгибные напряжения?
13. Какой геометрический параметр подлежит первоочередному определению в результате проектного расчета цилиндрической зубчатой передачи?
14. Какой геометрический параметр подлежит первоочередному определению в результате проектного расчета конической зубчатой передачи?
15. Что проверяется в ходе проверочных расчетов зубчатой передачи?

Тема 12. Червячная передача

Ключевые вопросы темы:

1. Принцип действия червячной пары. Классификация, достоинства и недостатки червячных передач.
2. Геометрические параметры червяка и червячного колеса. Передаточное отношение.
3. Усилия в червячном зацеплении.
4. Критерии работоспособности червячной передачи.
5. Сущность проектного и проверочных расчетов червячного редуктора.

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

Рекомендуемая литература: [5, с. 93–101; 6, с. 283–288].

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 σ_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 и тепловой расчет. Необходимость последнего 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 13. Валы и оси. Подшипники

Ключевые вопросы темы:

1. Назначение и классификация валов и осей. Посадочные поверхности.
2. Особенности нагружения валов и осей.
3. Расчет вала на прочность.
4. Назначение и классификация подшипников.
5. Конструктивные особенности и области применения подшипников скольжения.
7. Режимы работы подшипников скольжения.
8. Общее устройство подшипников качения, достоинства и недостатки.
9. Номенклатура и маркировка подшипников качения.

Целевая установка: Изучение данной темы ориентировано на осмысление места и роли валов и осей в составе машин при дальнейшем освоении технической терминологии. Студентам надлежит понять идеи и логику построения расчетных схем и оценки прочности вала. Среди целей также усвоение сведений о назначении, принципах работы и номенклатуре подшипников.

Рекомендуемая литература: [5, с. 119–128; 6, с. 290–297, 301–306].

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. Выполнение этих требований можно оценить посредством соответствующих расчетов. При этом используется простейшая модель вала в виде шарнирно опертой балки ступенчато-переменного круглого сечения под действием внешних нагрузок.

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 него нагрузок.

Этот учет реализуется в ходе проверочного расчета вала. Его смыслом является контроль усталостной прочности в опасных сечениях. 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. 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. Необходимо добиться уяснения последовательности и содержания проектного и проверочного расчетов вала, а также смысла используемых при этом величин.

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.

Необходимо обратить внимание на возможные режимы работы подшипника скольжения, уяснив различия *граничного*, *полужидкостного* и *жидкостного* трения. В этой связи стоит присмотреться к диаграмме зависимости коэффициента трения от *характеристики рабочего режима* подшипника. Осмыслению подлежат также идеи упрощенного расчета подшипника по критериям износостойкости и термостойкости.

Особое внимание следует 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. Следует 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.

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. Для каких сечений вала выполняется проверочный расчет?
10. С какой целью применяются подшипники?
11. Как классифицируются подшипники по направлению воспринимаемой нагрузки?
12. В каких случаях следует применять подшипники скольжения?
13. Какие режимы трения возможны при работе подшипника скольжения?
14. При выполнении каких условий возможна гидродинамическая работа подшипника скольжения?
15. Из чего состоит подшипник качения?
16. Какие существуют размерные серии подшипников качения?
17. Сколько существует типов подшипников качения?
18. Как расшифровываются две крайние справа цифры в маркировке подшипника качения?

Тема 14. Муфты приводов. Резьбовые соединения

Ключевые вопросы темы:

1. Назначение и классификация механических муфт.
2. Конструктивные особенности нерасцепляемых муфт.
3. Конструктивные особенности и принцип действия расцепляемых управляемых и самодействующих муфт.
4. Классификация соединений деталей машин.
5. Классификация и способы нанесения резьбы.
6. Основные геометрические параметры резьбы.
7. Теория винтовой пары, связь момента затяжки с осевым растяжением винта.
8. Условие самоторможения резьбового соединения. Способы стопорения резьбовых соединений.
9. Прочность резьбы.

Целевая установка: Изучение данной темы должно привести к усвоению сведений о назначении и номенклатуре муфт, а также к осмыслению устройства и принципов классификации резьбовых соединений. Студентам надлежит понять устройство и принципы работы муфт различного назначения, а также добиться понимания основ теории винтовой пары и методики оценки прочности резьбовых соединений.

Рекомендуемая литература: [5, с. 131–135; 6, с. 243–245, 297–300].

Методические указания

Изучение темы о механических муфтах ориентировано в первую очередь на формирование представлений о функциональном назначении и классификации муфт. 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 рассмотрение 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 изучении 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.

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.

Среди разъемных соединений резьбовые соединения являются самыми распространенными. В этих соединениях обязательно присутствие двух элементов – винта и гайки, независимо от многообразия конструктивных реализаций. При этом оба элемента снабжены резьбой. В этой связи уместно вспомнить знакомые после рассмотрения червячных передач сведения о резьбе: винтовая линия, в том числе угол подъема и число заходов; шаг и ход резьбы. Кроме того, следует получить представление о технологических приемах нанесения резьбы и применяемых при этом инструменте и оборудовании.

Используемые в технике резьбы классифицируются по ряду признаков, которые необходимо усвоить. Особо стоит обратить внимание на назначение резьбы: по этому признаку все резьбы делятся на *крепежные* и *ходовые*, что определяет для каждой категории соответствующий набор требований и конструктивные особенности. В резьбовых соединениях применяются крепежные резьбы: *метрическая, дюймовая, трубная, круглая*. Их характеризуют геометрические параметры, включая наружный, внутренний и средний диаметры, шаг, угол профиля, теоретическую и рабочую высоту профиля резьбы. Важно осмыслить принципы рационального выбора вида резьбового соединения – *болтового, винтового* либо *шпильного*.

Особо серьезного подхода требует теория винтовой пары, обосновывающая связь осевой силы в резьбовом соединении с моментом затяжки гайки. Для ее понимания следует в первую очередь осмыслить момент затяжки в виде суммы двух моментов, необходимых для преодоления сил трения на опорном торце гайки и непосредственно в резьбе. Первое слагаемое определяется из элементарных соображений, а для уяснения второго необходимо внимательно рассмотреть схему завинчивания гайки как подъема ползуна по наклонной плоскости, с преодолением трения в резьбе. Баланс приложенных к ползуну сил определяет связь окружной силы с осевой нагрузкой, что и дает искомое выражение для момента трения в резьбе. В итоге получается, что с учетом соотношений размеров гаечного ключа и деталей соединения выигрыш в силе затяжки соединения по сравнению с силой на ключе достигает 80 раз.

Рассмотрение отвинчивания гайки как движения ползуна вниз по наклонной плоскости дает возможность сформулировать условие *самоторможения* резьбового соединения. Этому условию удовлетворяют крепежные резьбы благодаря малым значениям угла подъема винтовой линии. Следует, однако, иметь в виду, что в случае действия вибрационных и динамических нагрузок самоторможение не гарантировано. В подобных ситуациях необходимы конструктивные меры для принудительного стопорения резьбовых соединений.

Положения теории винтовой пары позволяют оценить КПД винтовой передачи, что относится к применению ходовой резьбы. Стоит обратить внимание на возможные меры повышения КПД, непосредственно вытекающие из этой оценки.

Выход их строя резьбовых соединений происходит главным образом вследствие среза витков резьбы. Инженерный подход предполагает равномерное распределение касательных напряжений по ширине профиля резьбы. При этом условие прочности резьбы на срез под действием осевой нагрузки учитывает неравномерность ее распределения между отдельными витками. В этой связи стоит обратить внимание на диаграмму, иллюстрирующую долю отдельных витков резьбы в восприятии осевой силы в соединении. Характер этой диаграммы объясняет нецелесообразность применения гаек с числом витков резьбы больше шести.

Вопросы для самопроверки

1. Для чего предназначены муфты?
2. Как классифицируются муфты?
3. Что компенсируют компенсирующие муфты?

4. Какие существуют конструктивные разновидности жестких компенсирующих муфт?
5. С какой целью применяются упругие муфты?
6. Какие существуют конструктивные разновидности упругих муфт?
7. На каких двух возможных принципах основана работа управляемых муфт?
8. Какие существуют конструктивные разновидности предохранительных муфт?
9. Какая характеристика является основной при подборе муфт?
10. Как классифицируются соединения деталей машин?
11. На каком принципе основана разработка соединений деталей машин?
12. Как называются детали резьбового соединения?
13. По каким признакам классифицируются резьбы?
14. Какие известны способы нанесения резьбы?
15. Какие существуют виды резьбовых соединений?
16. Как связаны усилие на гаечном ключе и усилие затяжки резьбового соединения?
17. В чем состоит условие самоторможения резьбового соединения?
18. В каких случаях требуется и как осуществляется стопорение резьбового соединения?
19. Как определяется КПД винтовой пары? За счет чего он может быть повышен?
20. Каким критерием определяется прочность резьбы?
21. Почему число витков гайки обычно не превосходит шести?

Тема 15. Неразъемные соединения. Допуски и посадки

Ключевые вопросы темы:

1. Способы и технологии сварки. Виды сварных соединений.
2. Условия прочности сварных швов.
3. Соединения с натягом и способы их сборки.
4. Нагрузочная способность соединения с натягом.
5. Стандартизация и взаимозаменяемость в технике.
6. Номинальные и предельные размеры, верхнее и нижнее отклонения.
7. Понятие допуска на размер, поле допуска и его обозначение. Квалитеты точности.
8. Виды посадок. Обозначения посадок в системе отверстия.

Целевая установка: В результате изучения данной темы студентам следует получить представление о классификации и технологических приемах

сборки неразъемных соединений, понять принципы оценки их прочности и нагрузочной способности. Осмыслению подлежат идеи взаимозаменяемости и стандартизации, а также количественной оценки точности размеров, при дальнейшем освоении технической и конструкторской терминологии.

Рекомендуемая литература: [5, с. 140–142, 146–153; 6, с. 218–229, 237–239, 248–250].

Методические указания

Сварные соединения являются неразъемными, при этом наиболее полно соответствующими принципу равнопрочности. Необходимо усвоить особенности и сферы применения различных технологий сварки, а также виды сварных соединений – *стыковые, нахлесточные, тавровые, угловые*. Кроме того, стоит обратить внимание на виды сварных швов и их геометрические характеристики. Расчеты на прочность сварных швов исходят из предположения равномерного распределения напряжений по длине и сечению шва. При этом различные виды швов по-разному воспринимают внешнюю нагрузку и поэтому по-разному рассчитываются на прочность. Следует иметь в виду, что *стыковые* швы рассчитываются на действие нормальных напряжений при растяжении и при изгибе, *угловые* швы, в том числе *лобовые, фланговые* и *комбинированные*, работают на срез и поэтому рассчитываются на действие касательных напряжений.

Соединение с натягом, которое относится к категории неразъемных, позволяет добиться наиболее равномерной передачи нагрузки между валом и ступицей. Необходимо осмыслить понятие натяга и характер деформирования сопрягаемых деталей в результате сборки, а также усвоить три возможных способа сборки соединения. Прочность соединения обеспечивается контактным давлением на поверхности соприкосновения. В случае упругого деформирования сопрягаемых деталей контактное давление пропорционально величине натяга. Элементарный расчет прочности соединения при совместном действии осевой силы и вращающего момента исходит из предположения о равномерности контактного давления по всей зоне контакта. В действительности имеют место локальные всплески давления у кромок отверстия втулки, т. е. посадка втулки на вал с натягом является источником концентрации напряжений.

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.

Принципиальное значение имеют такие понятия, как *номинальный размер, максимальный и минимальный предельный размеры, верхнее и нижнее отклонение, допуск размера, поле допуска*. Необходимо добиться уяснения смысла этих понятий и правильного употребления соответствующих терминов. Величина допуска определяет точность размера; стандартом предусмотрены значения допусков в 19 *квалитетах* точности. В обозначении на чертеже номер квалитета следует после номинального размера и буквенного обозначения поля допуска.

Среди необходимых технических терминов для освоения важным является *посадка* – сопряжение двух соосных цилиндрических деталей, вала и втулки. В зависимости от взаимного расположения полей допусков сопрягаемых поверхностей возможны три группы посадок – *с зазором, переходные, с натягом*. Необходимо уяснить принцип обозначения посадок в системе отверстия, опираясь на схему расположения полей допуска вала относительно *нулевой линии* отверстия.

Вопросы для самопроверки

1. Какие существуют способы сварки?
2. Какие существуют виды сварных соединений?
3. Какие существуют типы сварных швов?
4. Чем определяется прочность стыкового шва?
5. Чем определяется прочность углового шва?
6. Из чего состоит соединение с натягом?
7. Какие возможны способы сборки соединений с натягом?
8. От чего зависит величина контактного давления в соединении с натягом?
9. Что такое взаимозаменяемость?
10. В чем состоит стандартизация? Какие существуют стандарты?
11. Как образованы ряды стандартных размеров?
12. Как определяется допуск на размер?
13. Что такое поле допуска и как оно обозначается на чертеже?
14. Какие существуют квалитеты точности?
15. Какие существуют виды посадок?
16. Как обозначаются посадки в системе отверстия?

Формами, направленными на практическую подготовку, являются практические и лабораторные занятия, выполнение индивидуального задания на РГР 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

подготовки РГР. Правильность выполнения заданий контролируется преподавателем. Дополнительно, в рамках СРС, каждый студент применяет разобранные на практических занятиях методики и приемы к выполнению РГР в соответствии с индивидуальным заданием. Перед практическими занятиями следует повторить теоретический материал по конспекту лекций. При посещении практических занятий в 4 семестре обязательно иметь при себе техническое задание на РГР и учебно-методические пособия по практическим занятиям, а также пособия, рекомендованные для работы над РГР. Указанные пособия имеются в библиотеке КГТУ и доступны в ЭИОС. Обеспечить учебную группу на занятиях методическими и справочными материалами для выполнения предусмотренных упражнений кафедры 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 защищенных РГР 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 выполнению РГР, в

4 семестре 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 РГР. Полный набор индивидуальных заданий имеется в ЭИОС. Там же размещается информация о номерах заданий для студентов учебных групп. Типовые задания на РГР приведены в Приложениях В и Г.

При выполнении и оформлении любого задания РГР в 3 семестре рекомендуется выдерживать такую последовательность.

1. Изобразить расчетную схему и воспроизвести исходные данные.
2. Записать соотношения, описывающие равновесие (движение) изучаемого объекта и его частей. Нанести на схему заданные и искомые величины в виде символов.
3. Получить выражения для искомых величин в общем виде, максимально упростить их.
4. Подставить числовые значения и выполнить подсчеты.
5. В задачах по сопротивлению материалов построить требуемые эпюры.
6. Записать ответ с обязательным указанием единиц измерения всех найденных величин.

Решение задачи следует сопровождать краткими комментариями, поясняющими суть выполняемых действий и используемые теоретические положения.

Правильная организация самостоятельной работы в 4 семестре 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 выполнению РГР.

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 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 РГР включает подготовку пояснительной записки и разработку чертежа. Все документы должны быть оформлены в соответствии с требованиями стандартов. Шаблон оформления пояснительной записки РГР размещен в ЭИОС. Пример оформления титульного листа РГР содержится в Приложении Г. В шифре перед символами ПЗ указывается 4-значный номер индивидуального задания на РГР. Например, для направления подготовки 20.03.01 шифр задания 4-7 будет иметь вид РР.24.20.03.01.0407.ПЗ. Помимо титульного листа шифр должен быть на всех страницах пояснительной записки (исключая Техническое задание), согласно шаблону в ЭИОС. Чертеж можно разрабатывать вручную, однако предпочтительным вариантом, в том числе с точки зрения подготовки к профессиональной деятельности, является использование 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 Е.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Иосилевич, Г. Б. Прикладная механика: учеб. / Г. Б. Иосилевич, Г. Б. Строганов, Г. С. Маслов.– Москва: Высшая школа, 1989. – 351 с.
2. Ладогубец, Н. В. Техническая механика: в 4 кн. – Кн. 1: Теоретическая механика: учеб. пособие / Н. В. Ладогубец, Э. В. Лузик; – Москва: Машиностроение, 2012. – 128 с.
3. Астанин, В. В. Техническая механика: в 4 кн. / В. В. Астанин; под ред. Д. В. Чернилевского. – Кн. 2: Сопротивление материалов: учеб. пособие. – Москва: Машиностроение, 2012. – 160 с.
4. Киницкий, Я. Т. Техническая механика: в 4 кн. / Я. Т. Киницкий; под ред. Д. В. Чернилевского. – Кн. 3: Основы теории механизмов и машин: учеб. пособие. – Москва: Машиностроение, 2012. – 104 с.
5. Чернилевский, Д. В. Техническая механика: в 4 кн. / Д. В. Чернилевский. – Кн. 4: Детали машин и основы проектирования: учеб. пособие / Д. В. Чернилевский. – Москва: Машиностроение, 2012. – 160 с.
6. Батиенков, В. Т. Техническая механика: учеб. пособие / В. Т. Батиенков, В. А. Волосухин, С. И. Евтушенко [и др.]. – Москва: РИОР: ИНФРА-М, 2011. – 376 с.

Задания и контрольные вопросы к лабораторным работам

Лабораторная работа № 1. Структурный анализ рычажных механизмов

Задание на лабораторную работу: Ознакомление с принципом работы и структурный анализ двух рычажных механизмов, предложенных преподавателем.

Контрольные вопросы:

1. Какой механизм считается плоским?
2. Что такое звено механизма?
3. Что такое кинематическая пара?
4. Что такое подвижность механизма?
5. Как определить подвижность механизма?
6. В чем суть структурного анализа рычажного механизма?

Лабораторная работа № 2. Определение параметров двухступенчатого цилиндрического редуктора

Задание на лабораторную работу: Ознакомление с устройством и работой редуктора. Определение конструктивных параметров посредством замеров и расчетов.

Контрольные вопросы:

1. Какая ступень редуктора является быстроходной (тихоходной)?
2. Как теоретически определить передаточное отношение ступени редуктора?
3. Как экспериментально определяется передаточное отношение двухступенчатого редуктора?
4. С помощью каких измерений можно найти модуль зацепления?
5. В каких единицах измеряется модуль зацепления?

Лабораторная работа № 3. Определение параметров двухступенчатого коническо-цилиндрического редуктора

Задание на лабораторную работу: Знакомство с устройством и работой редуктора. Определение конструктивных параметров посредством замеров и расчетов.

Контрольные вопросы:

1. Какая ступень редуктора является быстроходной (тихоходной)?
2. Как теоретически определить передаточное отношение ступени редуктора?
3. Как экспериментально определяется передаточное отношение двухступенчатого редуктора?
4. С помощью каких измерений можно найти модуль зацепления?

5. В каких единицах измеряется модуль зацепления?

Лабораторная работа № 4. Определение параметров червячного редуктора

Задание на лабораторную работу: Знакомство с устройством и работой червячного редуктора. Определение конструктивных параметров посредством замеров и расчетов.

Контрольные вопросы:

1. Какое из звеньев червячной пары является ведущим (ведомым)?
2. Как определить число заходов червяка?
3. Где на схеме червячного редуктора межосевое расстояние?
4. Чему равно передаточное отношение червячного редуктора?
5. Какие потери энергии учитываются при подсчете РГРД червячного редуктора?
6. Как влияет угол подъема винтовой линии червяка γ на РГРД червячной передачи?

Лабораторная работа № 5. Испытания подшипников скольжения

Задание на лабораторную работу: Оценка трения в подшипнике. Изучение распределения давления в масляном клине при работе подшипника в режиме жидкостного трения.

Контрольные вопросы:

1. Каким прибором и в каких единицах измеряется частота вращения вала?
2. Каким прибором измеряется давление масла в подшипнике скольжения?
3. В каких единицах измерено давление масла в подшипнике? Как получить значение в мегапаскалях (МПа)?
4. Какие возможны режимы работы подшипников скольжения?

Лабораторная работа № 6. Испытания подшипников качения

Задание на лабораторную работу: Оценка влияния смазки и величины внешней нагрузки на трение в подшипнике.

Контрольные вопросы:

1. Как измерить момент сопротивления в подшипнике качения?
2. Каким образом происходит нагружение подшипника качения?
3. Как контролируется величина нагрузки на подшипник?
4. Как определяется приведенный коэффициент трения в подшипнике качения?

Лабораторная работа № 7. Определение напряжений в затянутом резьбовом соединении

Задание на лабораторную работу: Определение момента затяжки резьбового соединения и напряженного состояния затянутого болта.

Контрольные вопросы:

1. Какие величины подлежат непосредственному измерению при испытании винтовой пары?
2. Как по результатам измерений определяется момент затяжки?
3. За счет чего получены разные значения моментов для двух схем резьбового соединения?
4. Какой профиль резьбы имеют детали винтовой пары?
5. В каких единицах измеряется эквивалентное напряжение в затянутом болте?

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
«Техническая механика»

ЛР.24.20.03.01.ПЗ

Студент группы –ТБ _____

Руководитель _____ доц. Сукиасов В.Г.

Калининград 202_

Типовые задания на расчетно-графическую работу в 3 семестре

Задание № 2

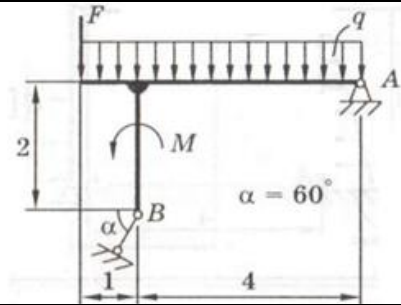
на расчетно-графическую работу по дисциплине Техническая механика

студент _____ группа _____

I. Теоретическая механика

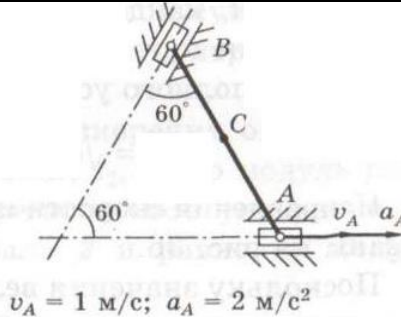
Статика

Для невесомого тела определить реакции опор. Сила $F = 12$ кН; момент пары сил $M = 20$ кН·м; интенсивность распределенной нагрузки $q = 2$ кН/м. Размеры указаны в метрах.



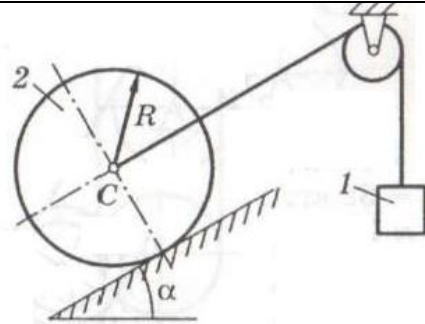
Кинематика

Для механизма, состоящего из шатуна AB длиной 2м и двух ползунов, по заданным величинам скорости и ускорения ползуна A определить скорость и ускорение ползуна B и средней точки C шатуна, а также угловую скорость и угловое ускорение шатуна.



Динамика

Определить ускорение тела 1. ρ – радиус инерции (если не указан, тело считать однородным цилиндром); f – коэффициент трения скольжения; f_k – коэффициент трения качения. Использовать теорему об изменении кинетической энергии в дифференциальной форме.



$m_2 = m_1$; $R = 20$ см;
 $f_k = 0,3$ см; $\alpha = 30^\circ$

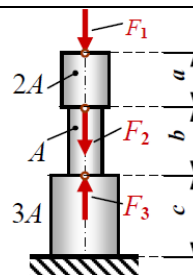
Задание № 2

II. Сопротивление материалов

Растяжение-сжатие

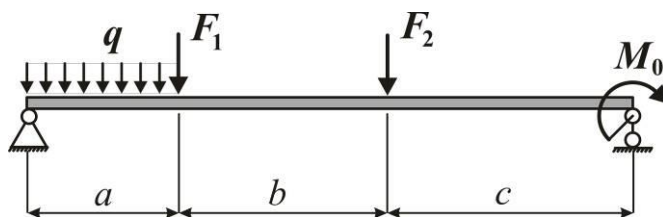
Для заданной расчетной схемы построить эпюры внутренних силовых факторов, найти положение опасного сечения. Считая модуль упругости E известным, определить перемещение торцевого сечения.

$$F_1 = 2F; F_2 = 4F; F_3 = 3F; A = 0.2a^2; c = 4a; b = 2a.$$



Изгиб

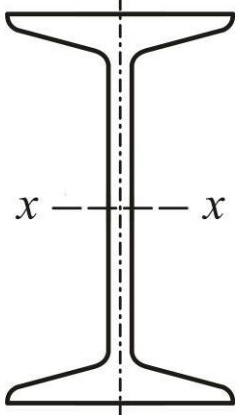
Для заданной расчетной схемы сплошной балки постоянного сечения построить эпюры изгибающих моментов и перерезывающих усилий. Найти положение опасных точек по нормальным и по касательным напряжениям. Из условия прочности по нормальным напряжениям подобрать сечение балки двутаврового профиля. Для выбранного сечения определить фактический коэффициент запаса прочности.



$$a = 2\text{ м}; b = 3\text{ м}; c = 4\text{ м}; F_1 = 40\text{ кН}; F_2 = 60\text{ кН};$$

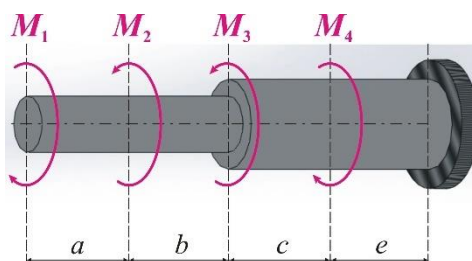
$$q = 20\text{ кН/м}; M_0 = 50\text{ кН}\cdot\text{м}; \text{предел прочности } \sigma_{\text{в}} = 400\text{ МПа}; \text{требуемый коэффициент запаса } \eta = 2.$$

БАЛКИ ДВУТАВРОВЫЕ. ГОСТ 8239-89

	№ профиля	$A, \text{ см}^2$	$J_x, \text{ см}^4$	$W_x, \text{ см}^3$
	14	17,4	572	81,7
16	20,2	873	109	
18	23,4	1290	143	
20	26,8	1840	184	
22	30,6	2550	232	
24	34,8	3460	289	
27	40,2	5010	371	
30	46,5	7080	472	
33	53,8	9840	597	
36	61,9	13380	743	
40	72,6	19062	953	
45	84,7	27696	1231	
50	138,0	76806	2560	

Кручение

Для заданной расчетной схемы консольного вала ступенчатого профиля построить эпюры внутренних силовых факторов, найти положение опасного сечения в каждой ступени. Определить диаметры ступеней вала D и d из условия прочности. Найти угол поворота торца вала. Длины участков: $a = 1.2\text{ м}$, $b = 1.5\text{ м}$, $c = 1\text{ м}$, $e = 1.4\text{ м}$; величины крутящих моментов: $M_1 = 2\text{ кН}\cdot\text{м}$, $M_2 = 1\text{ кН}\cdot\text{м}$, $M_3 = 3\text{ кН}\cdot\text{м}$, $M_4 = 2\text{ кН}\cdot\text{м}$; допускаемое касательное напряжение $[\tau] = 100\text{ МПа}$; модуль сдвига $G = 8 \cdot 10^4\text{ МПа}$.



Задание выдал _____ доц. Сукиасов В.Г. « ____ » _____ 202__ г.

Задание № 9

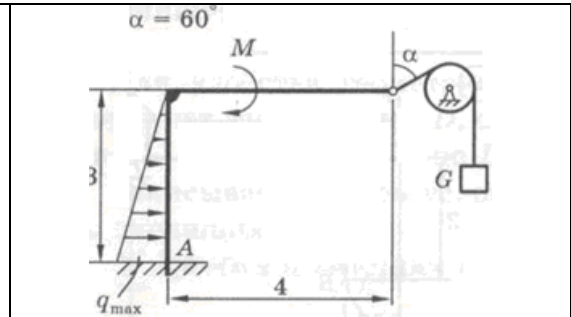
на расчетно-графическую работу по дисциплине Техническая механика

студент _____ группа _____

I. Теоретическая механика

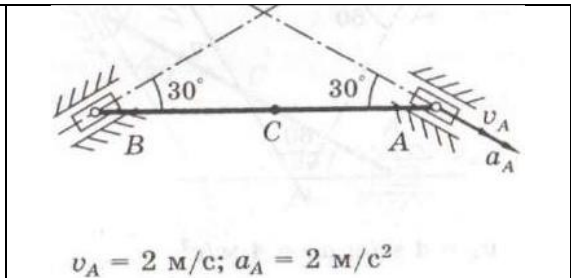
Статика

Для невесомого тела определить реакции опор. Вес груза $G = 10$ кН; момент пары сил $M = 24$ кН·м; интенсивность распределенной нагрузки $q_{\max} = 5$ кН/м. Размеры указаны в метрах.



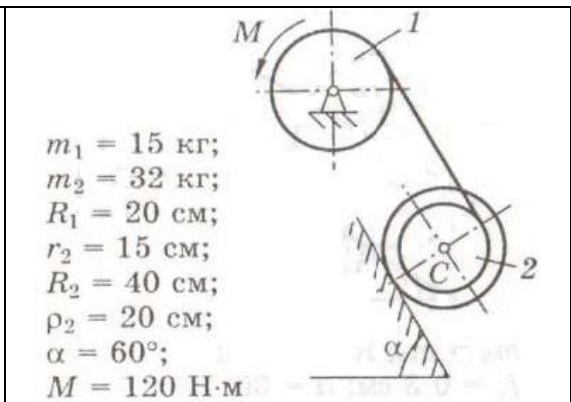
Кинематика

Для механизма, состоящего из шатуна AB длиной 2 м и двух ползунов, по заданным величинам скорости и ускорения ползуна A определить скорость и ускорение ползуна B и средней точки C шатуна, а также угловую скорость и угловое ускорение шатуна.



Динамика

Определить угловое ускорение тела 1. ρ – радиус инерции (если не указан, тело считать однородным цилиндром); f – коэффициент трения скольжения; f_k – коэффициент трения качения. Использовать теорему об изменении кинетической энергии в дифференциальной форме.



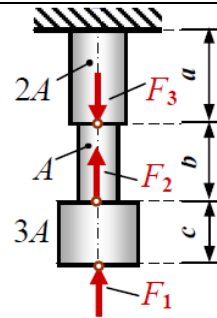
Задание № 9

II. Сопротивление материалов

Растяжение-сжатие

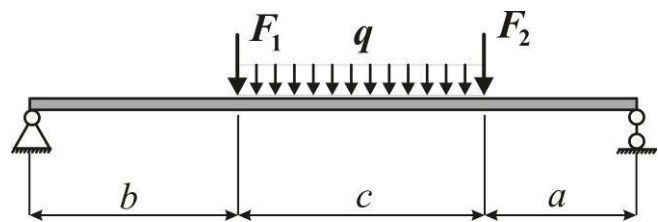
Для заданной расчетной схемы построить эпюры внутренних силовых факторов, найти положение опасного сечения. Считая модуль упругости E известным, определить перемещение торцевого сечения.

$$F_1 = 3F; F_2 = 2F; F_3 = F; A = 0.2b^2; c = a; b = 2a.$$



Изгиб

Для заданной расчетной схемы сплошной балки постоянного сечения построить эпюры изгибающих моментов и перерезывающих усилий. Найти положение опасных точек по нормальным и по касательным напряжениям. Из условия прочности по нормальным напряжениям подобрать сечение балки двутаврового профиля. Для выбранного сечения определить фактический коэффициент запаса прочности.



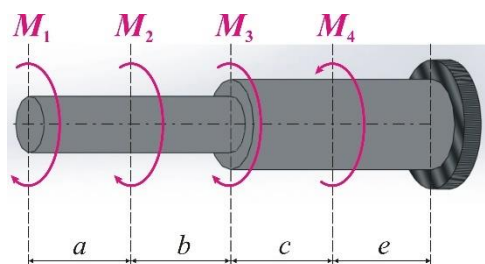
$$a = 2\text{ м}; b = 3\text{ м}; c = 4\text{ м}; F_1 = 40\text{ кН}; F_2 = 60\text{ кН}; q = 20\text{ кН/м}; M_0 = 50\text{ кН}\cdot\text{м}; \text{предел прочности } \sigma_B = 400\text{ МПа}; \text{требуемый коэффициент запаса } \eta = 2.$$

БАЛКИ ДВУТАВРОВЫЕ. ГОСТ 8239-89

№ профиля	$A, \text{ см}^2$	$J_x, \text{ см}^4$	$W_x, \text{ см}^3$
14	17,4	572	81,7
16	20,2	873	109
18	23,4	1290	143
20	26,8	1840	184
22	30,6	2550	232
24	34,8	3460	289
27	40,2	5010	371
30	46,5	7080	472
33	53,8	9840	597
36	61,9	13380	743
40	72,6	19062	953
45	84,7	27696	1231
50	138,0	76806	2560

Кручение

Для заданной расчетной схемы консольного вала ступенчатого профиля построить эпюры внутренних силовых факторов, найти положение опасного сечения в каждой ступени. Определить диаметры ступеней вала D и d из условия прочности. Найти угол поворота торца вала. Длины участков: $a = 1.4\text{ м}$, $b = 1.2\text{ м}$, $c = 1\text{ м}$, $e = 1.4\text{ м}$; величины крутящих моментов: $M_1 = 2\text{ кН}\cdot\text{м}$, $M_2 = 1\text{ кН}\cdot\text{м}$, $M_3 = 3\text{ кН}\cdot\text{м}$, $M_4 = 3\text{ кН}\cdot\text{м}$; допускаемое касательное напряжение $[\tau] = 100\text{ МПа}$; модуль сдвига $G = 8 \cdot 10^4\text{ МПа}$.



Приложение Г

Типовые задания на расчетно-графическую работу в 4 семестре

Задание № 4-9

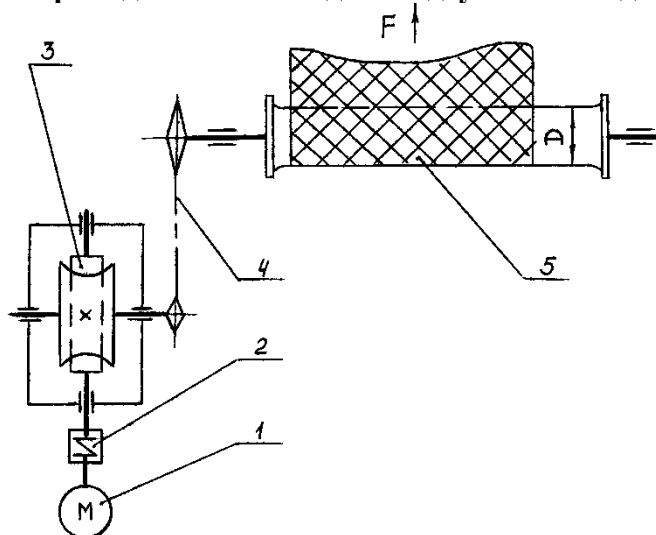
на расчетно-графическую работу по дисциплине «Техническая механика»

студент _____

группа _____

Исходные данные: эксплуатационные параметры привода – $F = 4,60$ кН; $v = 0,32$ м/с;
 $D = 0,35$ м; срок службы $L = 9$ лет; режим работы – тяжелый.

Привод механизма для подсушки невода



1 - электродвигатель; 2 - муфта упругая; 3 – червячный редуктор; 4 - цепная передача;
 5 – силовой ролик

План работы

№	Содержание этапа	Учебная неделя	% готовности работы
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	10
4	Выбор материалов для звеньев редуктора и подсчет допускаемых напряжений	4	15
5	Проектный расчёт редуктора	5	25
6	Определение геометрических параметров червячной передачи	6	30
7	Проверочный расчёт редуктора	8	40
8	Определение усилий в червячном зацеплении, выбор смазки	9	45
9	Проектный расчет тихоходного вала редуктора	10	50
10	Конструирование червячного колеса	11	60
11	Оформление пояснительной записки	13	80
12	Выполнение чертежа червячного колеса (А3)	15	100

Рекомендованная литература

Дунаев П.Ф. Конструирование узлов и деталей машин / П.Ф.Дунаев, О.П.Леликов. – М.: 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. – 16с.
 Шарков О.В. Детали машин и основы конструирования: учебно-методическое пособие / О.В. Шарков. – Калининград: КГТУ, 2016. – 117с.
 Шейнблит А.Е. Курсовое проектирование деталей машин / А.Е.Шейнблит. – Калининград: Янтарный сказ, 2002. – 454с.

Задание выдал _____ доц. Сукиасов В.Г. «__» _____ 202__ г.

Задание № 5-2

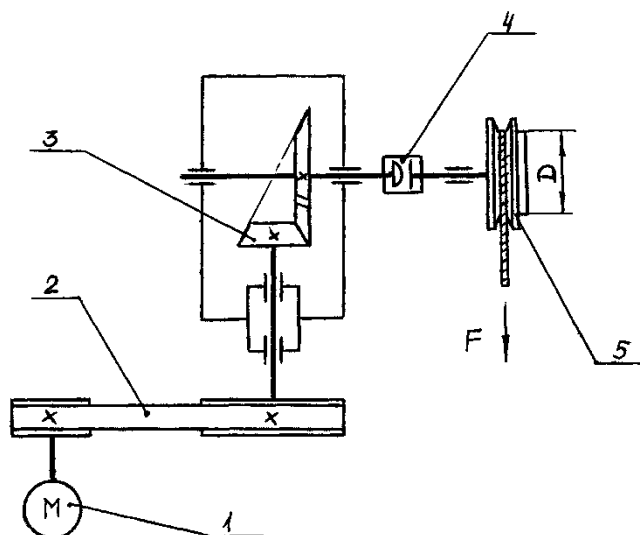
на расчетно-графическую работу по дисциплине «Техническая механика»

студент _____

группа _____

Исходные данные: эксплуатационные параметры привода – $F = 0,85$ кН; $v = 1,30$ м/с;
 $D = 0,27$ м; срок службы $L = 8$ лет; режим работы – тяжелый.

Привод поводцезыборочного механизма



1 - электродвигатель; 2 – плоскоременная передача; 3 – конический редуктор; 4 – муфта компенсирующая; 5 – тяговый шкив

План работы

№	Содержание этапа	Учебная неделя	% готовности работы
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	10
4	Выбор материалов для звеньев редуктора и подсчет допускаемых напряжений	4	15
5	Проектный расчёт редуктора	5	25
6	Определение геометрических параметров зубчатой передачи	6	30
7	Проверочный расчёт редуктора	8	40
8	Определение усилий в зубчатом зацеплении, выбор смазки	9	45
9	Проектный расчет тихоходного вала редуктора	10	50
10	Конструирование зубчатого колеса	11	60
11	Оформление пояснительной записки	13	80
12	Выполнение чертежа зубчатого колеса (A3)	15	100

Рекомендованная литература

Дунаев П.Ф. Конструирование узлов и деталей машин / П.Ф.Дунаев, О.П.Леликов. – М.: 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. – 16с.
 Шарков О.В. Детали машин и основы конструирования: учебно-методическое пособие / О.В. Шарков. – Калининград: КГТУ, 2016. – 117с.
 Шейнблит А.Е. Курсовое проектирование деталей машин / А.Е.Шейнблит. – Калининград: Янтарный сказ, 2002. – 454с.

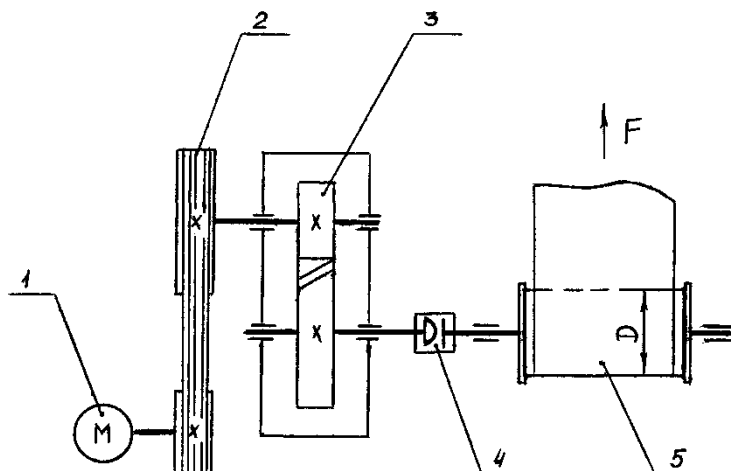
Задание выдал _____ доц. Сукиасов В.Г. «__» _____ 202__ г.

Задание № 8-3

на расчетно-графическую работу по дисциплине «Техническая механика»
студент _____ группа _____

Исходные данные: эксплуатационные параметры привода – $F = 1,60$ кН; $v = 1,00$ м/с;
 $D = 0,23$ м; срок службы $L = 7$ лет; режим работы – тяжелый.

Привод конвейера для транспортировки грузов



1 - электродвигатель; 2 – клиноременная передача; 3 - цилиндрический редуктор; 4 – муфта компенсирующая; 5 - приводной барабан

План работы

№	Содержание этапа	Учебная неделя	% готовности работы
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	10
4	Выбор материалов для звеньев редуктора и подсчет допустимых напряжений	4	15
5	Проектный расчёт редуктора	5	25
6	Определение геометрических параметров зубчатой передачи	6	30
7	Проверочный расчёт редуктора	8	40
8	Определение усилий в зубчатом зацеплении, выбор смазки	9	45
9	Проектный расчет тихоходного вала редуктора	10	50
10	Конструирование зубчатого колеса	11	60
11	Оформление пояснительной записки	13	80
12	Выполнение чертежа зубчатого колеса (А3)	15	100

Рекомендованная литература

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»: метод. пособие по курсовому проектированию / С. В. Федоров. – Калининград: КГТУ, 2011. – 16 с.

Шарков, О. В. Детали машин и основы конструирования: учеб.-метод. 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.

Образец оформления титульного листа расчетно-графической работы

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

Расчетно-графическая работа по дисциплине

«Техническая механика»

ПРИВОД ...

пояснительная записка

РР.24.20.03.01. .ПЗ

Студент _____

группа –ТБ

Руководитель _____

доц. Сукиасов В.Г.

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. Фрикционные передачи. Классификация, достоинства и недостатки.
9. Зубчатые передачи. Классификация, достоинства и недостатки.
10. Основная теорема зацепления. Сопряженные профили.
11. Геометрические параметры эвольвентного зацепления.
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. Назначение и классификация валов и осей. Конструктивные элементы и посадочные поверхности.

25. Критерии работоспособности валов. Сущность проектного и проверочного расчета.
26. Назначение и классификация подшипников.
27. Конструктивные особенности подшипников скольжения, достоинства и недостатки, области применения.
28. Режимы работы подшипников скольжения.
29. Общее устройство подшипников качения, классификация, достоинства и недостатки.
30. Кинематика подшипника качения.
31. Размерные серии. Маркировка подшипников качения.
32. Классификация соединений деталей машин.
33. Резьбовые соединения. Классификация и способы нанесения резьбы.
34. Основные геометрические параметры резьбы. Виды крепежных и ходовых резьб.
35. Теория винтовой пары. Связь момента затяжки с осевым растяжением винта.
36. Условие самоторможения резьбового соединения.
37. КПД винтовой пары.
38. Соединения с натягом. Способы сборки. Нагрузочная способность соединения.
39. Стандартизация и взаимозаменяемость. Номинальные и предельные размеры. Понятие допуска на размер.
40. Поле допуска и его обозначение. Качества точности. Виды посадок. Обозначения посадок в системе отверстия.

Локальный электронный методический материал

Владимир Георгиевич Сукиасов

ТЕХНИЧЕСКАЯ МЕХАНИКА

Редактор Э. С. Круглова

Локальное электронное издание
Уч.-изд. л. 4,4. Печ. л. 4,2

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