

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

В. Г. Мосур

**РАСЧЁТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ
ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины для студентов,
обучающихся в магистратуре по направлению подготовки
15.04.01 Машиностроение

Калининград
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»
2023

УДК 675-2

Рецензент

кандидат педагогических наук, доцент кафедры инжиниринга технологического оборудования ФГБОУ ВО «КГТУ» И. А. Соколова

Мосур, В. Г.

Расчет и конструирование деталей и узлов изделий машиностроения: учеб.-метод. пособие по изучению дисциплины для студ. магистратуры по напр. подгот. 15.04.01 Машиностроение / В. Г. Мосур. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2022. – 47 с.

В учебно-методическом пособии по изучению дисциплины «Расчет и конструирование деталей и узлов изделий машиностроения» представлены учебно-методические материалы по освоению тем лекционного курса, включающие подробный план лекции по каждой изучаемой теме, вопросы для самоконтроля, материалы по подготовке к практическим занятиям, отражены рекомендации для выполнения контрольной работы студентами очно-заочной формы обучения.

Табл. 4, список лит. – 11 наименования

Учебное пособие рассмотрено и рекомендовано к опубликованию кафедрой инжиниринга технологического оборудования 18 января 2023 г., протокол № 4

Учебно-методическое пособие по изучению дисциплины рекомендовано к изданию в качестве локального электронного методического материала методической комиссией института агрономии и пищевых систем ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» 30 мая 2023 г., протокол № 5

УДК 621.791

© Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Калининградский государственный
технический университет», 2023 г.
© Мосур В. Г. 2023 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....	9
2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ.....	33
1. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ.....	41
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	46

ВВЕДЕНИЕ

Совершенствование и развитие современного оборудования в машиностроении вызвано стремительным развитием научно-технической революции, быстрым обновлением знаний, увеличением объема научной и научно-технической информации.

Сегодня, как никогда, существует потребность в высококвалифицированных специалистах, имеющих хорошую общенаучную и профессиональную подготовку, которые способны к самостоятельной научной творческой работе. Эти специалисты должны не только хорошо ориентироваться в новых методах научных разработок и конструирования изделий, но также уметь внедрять их результаты в производственный процесс.

Дисциплина «Расчет и конструирование деталей и узлов изделий машиностроения» включает в себя: философские аспекты, методологические основы расчёта и конструирования деталей и узлов в машиностроении. Данный курс изучает методы конструирования и проектирования деталей и узлов машин. При изучении курса студенты должны научиться производить расчёт, предварительную и окончательную компоновку изделий, применять различные методики конструирования.

Задача конструктора состоит в создании машин, удовлетворяющих современным требованиям, предъявляемым к технике. Основными из них являются: высокая производительность, экономичность, прочность, надежность, малые масса, металлоемкость, габариты, энергоемкость, объем и стоимость ремонтных работ, высокий технический ресурс, простота и безопасность обслуживания, удобство управления, транспортировки, сборки и разборки.

Кроме этого, машины должны соответствовать требованиям технической эстетики. Данное учебное пособие предназначено для изучения студентами основных правил конструирования деталей машин, работающих при статической и переменных циклических нагрузках. В пособии приведены основы рационального проектирования при различных видах нагружения: выбор наиболее целесообразных материалов, конструкции, форм, заготовок, механических и термических обработок, степени точности деталей общего назначения. Для лучшего восприятия почти каждое положение, приводимое в тексте, сопровождается рисунками или таблицами с конструктивными решениями той или иной проблемы. Однако предложенные решения не являются окончательными и носят рекомендательный характер.

Любая машина, прибор, в общем случае изделие, состоит из деталей, которые различным образом соединены между собой.

Деталь — изделие, изготовленное из однородного материала без применения сборочных операций. Узел — законченная сборочная единица, состоящая из ряда деталей, имеющих общее функциональное назначение.

Агрегат — сборочная единица, обладающая полной взаимозаменяемостью, возможностью сборки отдельно от других составных частей изделия.

Конструкция большинства деталей, сборочных единиц, крепежных элементов общего назначения определена и регламентируется стандартами. В России действует единая система конструкторской документации, которая определяет порядок конструирования изделий, независимо от их назначения, а также состав и содержание документов, разрабатываемых на различных стадиях проектирования изделия.

Введение этой системы в конце 60-х годов прошлого века позволило выработать единый подход к конструированию, создать единый комплекс документов, соответствующих основным стадиям проектирования: техническое задание; техническое предложение; эскизный проект; технический проект; рабочая документация. Эта система упорядочила процесс проектирования, упростила его, что, безусловно, положительно сказалось и сказывается в процессе создания машин и приборов независимо от их назначения и степени сложности.

Разработка новых изделий осуществляется инженерно-техническим персоналом путем проектирования и конструирования. Если производство изделий есть их изготовление по имеющемуся описанию, то проектирование – это процесс получения такого описания. Проектирование предшествует конструированию и представляет собой поиск научно-обоснованных, технически осуществимых и экономически целесообразных инженерных решений. Проектирование – это выбор некоторого способа действий, в частном случае – это создание системы, способной решить поставленную задачу.

Конструированием создается конкретная, однозначная конструкция изделия. Конструкция – это устройство, взаимное расположение частей и элементов машины, прибора, определяющееся его назначением. В процессе конструирования создаются изображения и виды изделия, выбирается материал, устанавливаются требования к шероховатости поверхностей, создается техническая документация. Конструирование опирается на результаты проектирования и уточняет все инженерные решения, принятые при проектировании.

Проектирование и конструирование, дополняя друг друга, служат одной цели: разработке нового изделия, которое не существует или существует в другой форме. Это виды творческой, умственной деятельности, когда в уме разработчика создается конкретный мыслительный образ, реализуемый затем в конкретной материальной форме на производстве в изделии

Дисциплина «Расчет и конструирование деталей и узлов изделий машиностроения» является дисциплиной, формирующей у обучающихся готовность к выполнению расчёта и конструирования деталей и узлов изделий машиностроения, технологических машин и оборудования.

Целью освоения дисциплины является освоение знаний по основным разделам данной дисциплины и применению их при решении прикладных задач для обеспечения всесторонней технической подготовки будущего специалиста и создания предпосылок успешного освоения специальных дисциплин.

Результатами освоения дисциплины является поэтапное формирование требуемых компетенций у обучающихся.

Дисциплина «Расчет и конструирование деталей и узлов изделий машиностроения» относится к обязательной части образовательной программы магистратуры по направлению подготовки «Машиностроение».

При реализации дисциплины «Расчет и конструирование деталей и узлов изделий машиностроения» организуется практическая подготовка путем проведения практических занятий, предусматривающих участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

В результате изучения дисциплины студент направления «Машиностроение» должен:

знать:

- принципы и законы механического движения и их взаимосвязь; методы определения и расчета кинематических и динамических параметров деталей механизмов и машин;

- теорию совместной работы и методы расчета соединений узлов и деталей изделий машиностроения;

- методы математического анализа и моделирования, основы теоретического и экспериментального исследования в комплексной инженерной деятельности с целью моделирования объектов и технологических процессов;

уметь:

- проектировать и конструировать типовые элементы машин, выполнять их оценку по прочности и жесткости и другим критериям работоспособности;

- устанавливать требования к точности изготовления деталей и сборочных единиц;

- использовать компьютерные программы для расчета и проектирования узлов и деталей машин;

владеть:

- фундаментальными принципами и методами решения научно-технических задач, связанных с механическими явлениями.

- навыками оформления проектной и конструкторской документации.

- методиками расчета механических передач, деталей вращательного движения, соединений узлов и деталей изделий машиностроения.

Для успешного освоения дисциплины «Расчет и конструирование деталей и узлов изделий машиностроения», студент должен активно работать на лекционных и практических занятиях, организовывать самостоятельную внеаудиторную деятельность.

Для оценки результатов освоения дисциплины используются:

- оценочные средства поэтапного формирования результатов освоения;

- оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине.

К оценочным средствам поэтапного формирования результатов освоения дисциплины (текущий контроль) относятся:

- задания и контрольные вопросы по практическим и лабораторным занятиям.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме экзамена. К экзамену допускаются студенты:

- положительно аттестованные по результатам освоения дисциплины.

К оценочным средствам для промежуточной аттестации по дисциплине, проводимой в форме экзамена, соответственно относятся:

- вопросы к экзамену по дисциплине.

Универсальная система оценивания результатов обучения приведена в таблице 1 и включает в себя системы оценок: 1) «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно»; 2) «зачтено», «не зачтено»; 3) 100-балльную (процентную) систему и правило перевода оценок в пятибалльную систему.

Таблица 1 – Система оценок и критерии выставления оценки

Система оценок Критерий	2	3	4	5
	0–40 %	41–60 %	61–80 %	81–100 %
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
1. Системность и полнота знаний в отношении изучаемых объектов	Обладает частичными и разрозненными знаниями, которые не может научно-корректно связывать между собой (только некоторые из которых 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
2. 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
3. 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 данные	В состоянии осуществлять систематический и научно-корректный анализ предоставленной информации, вовлекает в исследование новые релевантные поставленной задаче данные, предлагает новые ракурсы поставленной задачи
4. Освоение стандартных алгоритмов решения профессиональных задач	В состоянии решать только фрагменты поставленной задачи в соответствии с заданным алгоритмом	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом	В состоянии решать поставленные задачи в соответствии с заданным алгоритмом, понима-	Не только владеет алгоритмом и понимает его основы, но и предлагает новые решения в рамках поставленной задачи

Система оценок Критерий	2	3	4	5
	0–40 %	41–60 %	61–80 %	81–100 %
	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
	«не зачтено»	«зачтено»		
	ритмом, не освоил предложенный алгоритм, допускает ошибки		ет основы предложенного алгоритма	

При необходимости для обучающихся инвалидов или обучающихся с ОВЗ предоставляется дополнительное время для подготовки ответа с учетом его индивидуальных психофизических особенностей.

Для успешного освоения дисциплины «Расчет и конструирование деталей и узлов изделий машиностроения» в учебно-методическом пособии по изучению дисциплины приводится краткое содержание каждой темы занятия, перечень вопросов для подготовки к практическим занятиям и организации самостоятельной работы студентов. Материал пособия содержит рекомендации по написанию контрольной работы для студентов очно-заочной формы обучения.

1 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Осваивая курс «Расчет и конструирование деталей и узлов изделий машиностроения», студент должен научиться работать на лекциях, практических занятиях и организовывать самостоятельную внеаудиторную деятельность. В начале лекции необходимо уяснить цель, которую лектор ставит перед собой и студентами. Важно внимательно слушать, отмечать наиболее существенную информацию и кратко ее конспектировать; сравнивать то, что услышано на лекции с прочитанным и усвоенным ранее материалом в области методологии научно-исследовательской деятельности, укладывать новую информацию в собственную, уже имеющуюся, систему знаний. По ходу лекции необходимо подчеркивать новые термины, определения, устанавливать их взаимосвязь с изученными ранее понятиями.

Основными видами учебной деятельности в ходе изучения курса являются лекции, практические занятия, консультирование по решению практических заданий, выполнение контрольной работы для очно-заочной формы обучения.

При разработке образовательной технологии организации учебного процесса основной упор сделан на соединение активной и интерактивной форм обучения. Интерактивная форма позволяет студентам проявить самостоятельность в освоении теоретического материала и овладении практическими навыками, формирует интерес и позитивную мотивацию к учебе.

При чтении лекций преподаватель имеет право самостоятельно выбирать формы и методы изложения материала, которые будут способствовать качественному его усвоению. При этом преподаватель в установленном порядке может использовать технические средства обучения, имеющиеся на кафедре и в университете. Вместе с тем, всякий лекционный курс является в определенной мере авторским, представляет собой творческую переработку материала и неизбежно отражает личную точку зрения лектора на предмет и методы его преподавания. В этой связи представляется целесообразным привести некоторые общие методические рекомендации по построению лекционного курса и формам его преподавания.

Лекции составляют основу теоретической подготовки и посвящены наиболее важным моментам по методологии научного познания в машиностроении. При проведении лекций необходимо использовать технические средства обучения, ЭИОС, применять методы, способствующие активизации познавательной деятельности слушателей. На лекциях целесообразно теоретический материал иллюстрировать рассмотрением различных примеров и конкретных задач. Имеет смысл привлекать студентов к обсуждению как рассматриваемого вопроса в целом, так и отдельных моментов рассуждений и доказательств. Необходимо также использовать возможности проблемного изложения, дискуссии с целью активизации деятельности

студентов. Важную роль играет привлечение студентов к научно-исследовательской деятельности.

Практические занятия проводятся для закрепления основных теоретических положений курса и реализации их в практических расчетах, формирования и развития у студентов мышления в рамках будущей профессии.

На практических занятиях следует добиваться точного и адекватного владения теоретическим материалом и его применения для решения задач.

Важным звеном во всей системе обучения является самостоятельная работа обучающихся. В широком смысле под ней следует понимать совокупность всей самостоятельной деятельности студентов, как в отсутствии преподавателя, так и в контакте с ним. Она является одним из основных методов поиска и приобретения новых знаний, работы с литературой, а также выполнения предложенных заданий. Преподаватель призван оказывать в этом методическую помощь студентам и осуществлять руководство их самостоятельной работой.

Необходимо контролировать степень усвоения студентами текущего материала, а также уровень остаточных знаний по уже изученным темам. При изучении курса предусмотрены следующие формы текущего контроля:

- опросы по теоретическому материалу;
- контроль на практических занятиях;
- выполнение и защита контрольной работы (очно-заочная форма обучения).

Промежуточный контроль осуществляется в форме сдачи экзамена и имеет целью определить степень достижения учебных целей по дисциплине.

С целью формирования мотивации и повышения интереса к предмету особое внимание при чтении курса необходимо обратить на темы, которые можно проиллюстрировать примерами из практической сферы, связывая теоретические положения с будущей профессиональной деятельностью студентов.

Тематический план лекционных занятий представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Объем (трудоемкость освоения) и структура лекционных занятий направления «Машиностроение»

Номер темы	Содержание лекционного занятия
1	Основные понятия и определения
2	Основные принципы и этапы разработки машин
3	Требования к машинам и критерии их качества
4	Классификация деталей машин
5	Стандартизация и взаимозаменяемость деталей машин
6	Основы прочностных расчётов
7	Технологичность конструкций
8	Экономические основы конструирования машин

Если лектор приглашает студентов к дискуссии, то необходимо принять в ней активное участие. Если на лекции студент не получил ответа на возникшие у него вопросы, он может в конце лекции задать эти вопросы лектору курса дисциплины.

Тема 1. Основные понятия и определения

Ключевые вопросы темы

1. Определение понятий расчёт и проектирование, цели, задачи, функции.
2. История развития проектирования деталей машин.
3. Основные определения.
4. Основные критерии работоспособности.
5. Методы научного познания.

Ключевые понятия: наука, знание, расчёт и проектирование, механизм, критерии работоспособности.

Литература: [3, с. 5–40]

Методические рекомендации

Первая тема курса дисциплины направлена на получение у обучающихся представления о базовых понятиях дисциплины, определении места дисциплины в структуре образовательной программы, планируемых результаты освоения дисциплины, возможных рисках освоения дисциплины, знакомит обучающихся с формами текущего и промежуточного контроля.

Дисциплина «Расчет и конструирование деталей и узлов изделий машиностроения» являются первым из расчетно-конструкторских курсов, в котором изучают основы проектирования машин и механизмов.

Как самостоятельная научная дисциплина курс «Расчет и конструирование деталей и узлов изделий машиностроения» оформился к 80-м годам XIX века. В это время он был выделен из общего курса построения машин. До этого расчеты машин элементарный характер. Студенты изучали все вопросы машиностроения в общем курсе построения машин. Развитие машиностроения и теории расчета машин сделало этот курс чрезвычайно обширным, а общее обучение – нецелесообразным. Поэтому курс построения машин был расчленен на ряд общетехнических и специальных дисциплин.

В зависимости от сложности и габаритов, всякий продукт машиностроения состоит из конечного числа объектов. В соответствии со стандартом для обозначения этих объектов используются ниже следующие термины.

Изделие – это согласно ГОСТ 2.101-68 любой предмет (или набор предметов), подлежащий изготовлению на предприятии.

Механизм – система тел, предназначенная для преобразования движения одних твердых тел в необходимые движения других тел.

Машина – механическое устройство, совершающее движения с целью преобразования энергии, материалов и информации, например двигатель внутреннего сгорания, прокатный стан, арифмометр. ЭВМ, с точки зрения машиностроения, не может называться машиной, так как не имеет деталей, совершающих механические движения.

Деталь – это изделие, изготовленное из однородного материала без применения сборочных операций, например винт, гайка, вал, шкив, литой корпус.

Сборочная единица – изделие, составные части которого соединены между собой в процессе сборочных операций (свинчиванием, сочленением, клепкой, сваркой и т. д.), например ручка, подшипник, стол, автотракторный двигатель, коробка передач, сварной корпус.

Сборочная единица, которая может собираться отдельно от других составных частей изделия, называется **узлом**. Укрупненный, обладающий полной взаимозаменяемостью узел, выполняющий определенную функцию, называется **машинным агрегатом** (например, электродвигатель), а метод компоновки промышленных изделий из отдельных агрегатов называется **агрегатированием**. Агрегатирование значительно упрощает проектирование, сборку, эксплуатацию, ремонт и модернизацию изделий.

Многие детали и узлы различных машин похожи, имеют одинаковое функциональное назначение, поэтому их называют **детальми общего назначения** и именно они являются объектом изучения в настоящем курсе. Детали, характерные только для некоторых типов машин (например, пропеллеры самолетов, гребные винты судов, лопатки турбин, шатуны, коленвалы и поршни двигателей и т. п.), называются **детальми специального назначения** и рассматриваются в специальных дисциплинах.

Комплекс – два и более изделия, не соединенные сборочными операциями, но предназначенные для выполнения взаимосвязанных эксплуатационных функций, например поточная линия станков, телефонная станция.

Комплект – два и более изделия, не соединенные сборочными операциями и предназначенные для выполнения вспомогательных функций, например комплект запасных частей, измерительного инструмента, записывающей аппаратуры.

Основные требования к конструкции деталей машин. Совершенство конструкции детали оценивают по ее **надёжности и экономичности**. Под надёжностью понимают *свойство изделия сохранять во времени свою работоспособность*. Экономичность определяют стоимостью материала, затратами на производство и эксплуатацию.

Работоспособность (ГОСТ 27.002–89) узлов и деталей машин – состояние, при котором сохраняется способность выполнения заданных функций в пределах параметров, установленных нормативно-технической документацией.

Основные критерии работоспособности и расчета деталей машин – прочность, жесткость, износостойкость, коррозионная стойкость, теплостойкость, виброустойчивость. Значение того или иного критерия для данной детали зависит от ее функционального назначения и условий работы. Например, для крепежных винтов главным критерием является прочность, а для ходовых винтов – износостойкость. При конструировании деталей их работоспособность обеспечивают в основном выбором соответствующего мате-

риала, рациональной конструктивной формой и расчетом размеров по главным критериям.

Прочность – главный критерий работоспособности большинства деталей машин без поломок при постоянной (статической) и переменной нагрузке. Непрочные детали не могут работать. Следует помнить, что разрушения частей машины приводят не только к простоям, но и к несчастным случаям. Прочность при статической нагрузке – это способность детали сохранить работоспособность без поломок при максимальной нагрузке, на которую она рассчитана. Прочность при переменной нагрузке – это способность сохранить работоспособность без поломок в течение заданного времени и при всех видах действующих на деталь нагрузок.

Жесткость – способность тела или конструкции сопротивляться деформированию.

Износостойкость – критерий работоспособности трущихся деталей в течение времени. От износа деталей существенно зависит стоимость эксплуатации в связи с необходимостью периодической проверки их состояния и проведения ремонта с целью восстановления работоспособности.

Теплостойкость – сохранение работоспособности и прочности деталей в условиях рабочих температур.

Вибростойчивость – сохранение работоспособности деталей и машин в нужном диапазоне режимов с допустимыми колебаниями и без резонанса.

Надежность (ГОСТ 27.002–89) – свойство объекта (машин, механизмов и деталей) выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных показателей в нужных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования, технического обслуживания, ремонта, хранения и транспортирования.

Безотказность – свойство объекта непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого времени или некоторой наработки.

Отказ – это событие, заключающееся в нарушении работоспособности объекта.

Долговечность – свойство машины (механизма, детали) сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технических обслуживания и ремонтов. Под предельным понимается такое состояние объекта, когда дальнейшая эксплуатация становится экономически нецелесообразной или технически невозможной (например, ремонт обходится дороже новой машины, детали или может вызвать аварийную поломку).

Ремонтпригодность – свойство объекта, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов и повреждений и устранению их последствий в процессе ремонта и технического обслуживания.

Сохраняемость – свойство объекта сохранять работоспособность в течение и после хранения или транспортирования.

Чертежи деталей и сборочных единиц обязательно имеют технические требования на изготовление. Чертежи сборочных единиц дополнительно

снабжаются технической характеристикой и подетальной спецификацией (отдельный текстовый документ).

Задача курса «Расчет и конструирование деталей и узлов изделий машиностроения» заключается в том, чтобы исходя из заданных условий работы детали или сборочной единицы, изложить научно-обоснованные методы и правила их проектирования и конструирования. При этом принятый метод должен обеспечить выбор наиболее рациональных форм, размеров, материала, степени точности и качества изделия.

Вопросы для контроля:

1. Что такое механизм?
2. Что такое машина?
3. Основные критерии работоспособности.
4. Что такое ремонтпригодность?
5. Что такое сохраняемость?
6. Расскажите об этапах развития деталей машин.
7. Основные понятия курса.

Тема 2. Основные принципы и этапы разработки машин

Ключевые вопросы темы

1. Разработка технического предложения.
2. Разработка эскизного проекта.
3. Разработка технического проекта.
4. Разработка документации для изготовления изделия.

Ключевые понятия: эскиз, проект, изделие, техническое задание, рабочая документация.

Литература: [4, с. 30–40]

Методические рекомендации

Машины, как и другие изделия, изготавливаются только по проекту, который, в любом случае, является совокупностью графических и текстовых документов. Правила и порядок разработки, оформления и обращения этих документов устанавливается комплексом стандартов – Единой системой конструкторской документации (ЕСКД), разработанной в 70-е годы XX в.

Проектирование машин выполняют в несколько стадий, установленных ГОСТ 2.103-68. Для единичного производства это:

1. Разработка технического предложения по ГОСТ 2.118-73.
2. Разработка эскизного проекта по ГОСТ 2.119-73.
3. Разработка технического проекта по ГОСТ 2.120-73.
4. Разработка документации для изготовления изделия.
5. Корректировка документации по результатам изготовления и испытания изделия.

Стадии проектирования при серийном производстве те же, но только корректировку документации приходится повторять несколько раз: сначала для опытного экземпляра, затем для опытной партии, затем по результатам изготовления и испытаний первой промышленной партии.

В любом случае, приступая к каждому этапу конструирования, как и вообще к любой работе, необходимо чётко обозначить три позиции:

Исходные данные – любые объекты и информация, относящиеся к делу ("что мы имеем?").

Цель – ожидаемые результаты, величины, документы, объекты ("что мы хотим получить?").

Средства достижения цели – методики проектирования, расчётные формулы, инструментальные средства, источники энергии и информации, конструкторские навыки, опыт ("что и как делать?").

Деятельность конструктора-проектировщика обретает смысл только при наличии заказчика – лица или организации, нуждающихся в изделии и финансирующих разработку.

Теоретически заказчик должен составить и выдать разработчику Техническое Задание – документ, в котором грамотно и чётко обозначены все технические, эксплуатационные и экономические параметры будущего изделия. Но, к счастью, этого не происходит, поскольку заказчик поглощён своими ведомственными задачами, а, главное, не имеет достаточных навыков проектирования. Таким образом, инженер не остаётся без работы.

Работа начинается с того, что заказчик и исполнитель совместно составляют (и подписывают) Техническое Задание. При этом исполнитель должен получить максимум информации о потребностях, пожеланиях, технических и финансовых возможностях заказчика, обязательных, предпочтительных и желательных свойствах будущего изделия, особенностях его эксплуатации, условиях ремонта, возможном рынке сбыта.

Тщательный анализ этой информации позволит проектировщику правильно выстроить логическую цепочку "Задание – Цель – Средства" и максимально эффективно выполнить проект.

Разработка **Технического Предложения** начинается с изучения Технического Задания. Выясняются назначение, принцип устройства и способы соединения основных сборочных единиц и деталей. Всё это сопровождается анализом научно-технической информации об аналогичных конструкциях. Выполняются кинематический расчёт, проектировочные расчёты на прочность, жёсткость, износостойкость и по критериям работоспособности. Из каталогов предварительно выбираются все стандартные изделия – подшипники, муфты и т.п. Выполняются первые эскизы, которые постепенно уточняются. Необходимо стремиться к максимальной компактности расположения и удобства монтажа-демонтажа деталей.

На стадии **Эскизного Проекта** выполняются уточнённые и проверочные расчёты деталей, чертежи изделия в основных проекциях, прорабатывается конструкция деталей с целью их максимальной технологичности, выбираются сопряжения деталей, прорабатывается возможность сборки-разборки и регулировки узлов, выбирается система смазки и уплотнения. Эскизный проект должен быть рассмотрен и утверждён, после чего он становится основой для Технического Проекта. При необходимости изготавливаются и испытываются макеты изделия.

Технический Проект должен обязательно содержать чертёж общего вида, ведомость технического проекта и пояснительную записку. Чертёж общего вида по ГОСТ 2.119-73 должен дать сведения о конструкции, взаимодействии основных частей, эксплуатационно-технических характеристиках и принципах работы изделия. Ведомость Технического Проекта и Пояснительная Записка, как и все текстовые документы должны содержать исчерпывающую информацию о конструкции, изготовлении, эксплуатации и ремонте изделия. Они оформляются в строгом соответствии с нормами и правилами ЕСКД (ГОСТ 2.104-68; 2.105-79; 2.106-68).

Таким образом, проект приобретает окончательный вид – чертежей и пояснительной записки с расчётами, называемыми **рабочей документацией**.

Вопросы для контроля:

1. Что такое технический проект?
2. Какова цель эскизного проекта?
3. Перечислите виды научных исследований.
4. Чем обосновывается актуальность проектирования?
5. Что необходимо для составления технического задания?
6. Опишите этапы научно-исследовательской работы.
7. Какие варианты получения новых научных результатов вам известны?

Тема 3. Требования к машинам и критерии их качества

Ключевые вопросы темы

1. Критерии качества.
2. Условия нормальной работы деталей и машин.
3. Общие принципы прочностных расчётов.
4. Понятие об автоматизированном проектировании.
5. Системный подход при проектировании.

Ключевые понятия: качество, анализ, надёжность, производительность, точность.

Литература: [5, с. 40–52]

Методические рекомендации

Поскольку человеку свойственно хотеть всего и сразу, то требования к машинам многообразны и часто противоречивы, однако их можно условно разделить на основные взаимосвязанные группы:

- технологические требования;
- экономические требования;
- эксплуатационные требования.

Качество машины, т.е. её максимальное соответствие всем требованиям невозможно без неустанного внимания инженера на всех стадиях "жизни" машины.

Качество закладывается на стадии проектирования, обеспечивается на стадии производства и поддерживается в процессе эксплуатации.

Степень соответствия требованиям характеризуют критерии качества (*греч. "крит эрион" – узкое место*) – некие конкретные параметры (*греч. "пара мэтрос" – измеряемый*), т.е. измеряемые или вычисляемые величины.

Однако известно, что полное удовлетворение всех требований – абсолютно невыполнимая задача, поэтому всегда приходится идти на компромисс, обозначая главные требования и обеспечивая соответствующие им критерии качества. Отметим поэтому лишь основные требования к деталям и машинам.

ТЕХНОЛОГИЧНОСТЬ – изготовление изделия при минимальных затратах труда, времени и средств при полном соответствии своему назначению.

ЭКОНОМИЧНОСТЬ – минимальная стоимость производства и эксплуатации.

РАБОТОСПОСОБНОСТЬ – состояние объекта, при котором он способен выполнять заданные функции.

НАДЁЖНОСТЬ – свойство объекта сохранять во времени способность к выполнению заданных функций (ГОСТ 27.002-83).

Основными критериями качества машин считают:

МОЩНОСТЬ – скорость преобразования энергии;

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ – объём работы (продукции, информации), выполняемой в единицу времени;

КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ – доля дошедшей до потребителя энергии (мощности);

ГАБАРИТЫ – предельные размеры;

ЭНЕРГОЁМКОСТЬ – расход топлива или электричества отнесённый к объёму работы (пройденному расстоянию, произведённой продукции);

МАТЕРИАЛОЁМКОСТЬ – количество конструкционного материала машины, обычно отнесённого к единице мощности;

ТОЧНОСТЬ – способность максимально соответствовать заданному положению (скорости и т.п.);

ПЛАВНОСТЬ ХОДА – минимальные ускорения при работе машины.

Условия нормальной работы деталей и машин

Успешная работа деталей и машин заключается в обеспечении работоспособности и надёжности.

РАБОТОСПОСОБНОСТЬ деталей и машин определяется как свойство выполнять свои функции с заданными показателями и характеризуется следующими критериями:

ПРОЧНОСТЬ – способность детали сопротивляться разрушению или необратимому изменению формы (деформации);

ЖЁСТКОСТЬ – способность детали сопротивляться любой деформации;

ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ – способность сохранять первоначальную форму своей поверхности, сопротивляясь износу;

ТЕПЛОСТОЙКОСТЬ – способность сохранять свои свойства при действии высоких температур;

ВИБРОУСТОЙЧИВОСТЬ – способность работать в нужном диапазоне режимов без недопустимых колебаний.

НАДЁЖНОСТЬ определяется как свойство детали и машины выполнять свои функции, сохраняя заданные показатели в течение заданного времени и, по существу, выражает собой перспективы сохранения работоспособности.

В процессе работы детали и машины подвергаются не только расчётным нагрузкам, которые конструктор ожидает и учитывает, но и попадают во вне-

штатные ситуации, которые очень трудно предусмотреть, как, например, удары, вибрация, загрязнение, экстремальные природные условия и т.п. При этом возникает отказ – утрата работоспособности вследствие разрушения деталей или нарушения их правильного взаимодействия. Отказы бывают полные и частичные; внезапные (поломки) и постепенные (износ, коррозия); опасные для жизни; тяжёлые и лёгкие; устранимые и неустранимые; приработочные (возникают в начале эксплуатации) и связанные с наличием дефектных деталей; отказы по причине износа, усталости и старения материалов.

Надёжной можно считать машину, имеющую следующие свойства.

БЕЗОТКАЗНОСТЬ – способность сохранять свои эксплуатационные показатели в течение заданной наработки без вынужденных перерывов.

ДОЛГОВЕЧНОСТЬ – способность сохранять заданные показатели до предельного состояния с необходимыми перерывами для ремонтов и технического обслуживания.

РЕМОНТОПРИГОДНОСТЬ – приспособленность изделия к предупреждению, обнаружению и устранению отказов и неисправностей посредством техобслуживания и ремонта.

СОХРАНЯЕМОСТЬ – способность сохранять требуемые эксплуатационные показатели после установленного срока хранения и транспортирования.

Надёжность трудно рассчитать количественно, она обычно оценивается как вероятность безотказной работы на основании статистики эксплуатации группы идентичных машин.

При всей значимости всех описанных критериев, нетрудно заметить, что прочность является важнейшим критерием работоспособности и надёжности

Невыполнение условия прочности автоматически делает бессмысленными все другие требования и критерии качества машин.

Действительно, немногого стоит технологичная, жёсткая, износостойкая, теплостойкая, виброустойчивая, дешёвая в эксплуатации, ремонтнопригодная конструкция самого передового дизайна, если она сломалась при первой же нагрузке!

Общие принципы прочностных расчётов

Все этапы проектирования, каждый шаг конструктора сопровождается расчётами. Это естественно, так как грамотно выполненный расчёт намного проще и в сотни раз дешевле экспериментальных испытаний.

Чаще всего конструктор имеет дело с расчётами на прочность.

Различают **проектировочные** и **проверочные** расчёты.

Проектировочный расчёт выполняется, когда по ожидаемым нагрузкам, с учётом свойств материала определяются геометрические параметры деталей.

Проверочный расчёт выполняют, когда известна вся "геометрия" детали и максимальные нагрузки, а с учётом свойств материала определяются максимальные напряжения, которые должны быть меньше допускаемых.

Несмотря на такие "провокационные" названия, следует помнить, что оба этих вида расчётов всегда сопутствуют друг другу и выполняются на стадии проектирования деталей и машин.

Понятие об автоматизированном проектировании

Современные достижения науки и техники, возрастающая функциональность современных изделий требуют выполнения проектных работ большого объема. Требования к качеству проектов, срокам их выполнения оказываются все более жесткими в условиях конкурентной борьбы за потребителя. Удовлетворить эти требования путем количественного увеличения проектировщиков невозможно, так как распараллеливание проектных работ не безгранично.

Решение проблемы возможно путем внедрения в практику инженерного проектирования методов и средств автоматизированного проектирования.

Цель автоматизации проектирования - повышение качества, снижение материальных затрат, сокращение сроков проектирования и повышение производительности труда проектировщиков.

Под автоматизацией проектирования понимается такой способ проектирования, при котором весь цикл проектных работ осуществляется рационально распределенным взаимодействием человека и ЭВМ.

В настоящее время термин "автоматизация проектирования" характеризует целое научно-техническое направление, базирующееся на современных достижениях физики, математики, вычислительной техники и теории проектирования.

Предметом автоматизации проектирования являются формализация проектных процедур, структурирование и типизация процессов проектирования, постановки, модели, методы и алгоритмы, информационная поддержка решения проектных задач, а также технические средства и способы их объединения в единую проектирующую систему.

В первые годы применения ЭВМ в процессе проектирования бытовало мнение о снижении требований к квалификации проектировщиков при использовании автоматизированного проектирования, однако эта точка зрения не получила подтверждения практикой, так как инженер-проектировщик помимо владения предметной областью должен знать модели, методы и методики автоматизированного проектирования. А это предъявляет повышенные требования к уровню профессиональной подготовки инженера, который помимо знания средств автоматизированного проектирования должен уметь отбирать и эксплуатировать эти средства в конкретном процессе создания определенного класса аппаратуры.

Системный подход при проектировании

Современные методы проектирования деятельности пользователей АСУ сложились в рамках системотехнической концепции проектирования, в силу чего учет человеческого фактора ограничился решением проблем согласования «входов» и «выходов» человека и машины. Вместе с тем при анализе неудовлетворенности пользователей АСУ удается выявить, что она часто объясняется отсутствием единого, комплексного подхода к проектированию систем взаимодействия.

Использование системного подхода позволяет принять во внимание множество факторов самого различного характера, выделить из них те, которые оказывают самое большое влияние с точки зрения имеющихся общесистемных целей и критериев, и найти пути и методы эффективного воздействия на них.

Системный подход основан на применении ряда основных понятий и положений, среди которых можно выделить понятия системы, подчиненности целей и критериев подсистем общесистемным целям и критериям и т.д. Системный подход позволяет рассматривать анализ и синтез различных по своей природе и сложности объектов с единой точки зрения, выявляя при этом важнейшие характерные черты функционирования системы и учитывая наиболее существенные для всей системы факторы. Значение системного подхода особенно велико при проектировании и эксплуатации таких систем, как автоматизированные системы управления (АСУ), которые по существу являются человеко-машинными системами, где человек выполняет роль субъекта управления.

Системный подход при проектировании представляет собой комплексное, взаимосвязанное, пропорциональное рассмотрение всех факторов, путей и методов решения сложной многофакторной и многовариантной задачи проектирования интерфейса взаимодействия. В отличие от классического инженерно-технического проектирования при использовании системного подхода учитываются все факторы проектируемой системы – функциональные, психологические, социальные и даже эстетические.

Автоматизация управления неизбежно влечет за собой осуществление системного подхода, так как она предполагает наличие саморегулирующейся системы, обладающей входами, выходами и механизмом управлением. Уже само понятие системы взаимодействия указывает на необходимость рассмотрения окружающей среды, в которой она должна функционировать. Таким образом, система взаимодействия должна рассматриваться как часть более обширной системы – АСУ реального времени, тогда как последняя – системы управляемой среды.

Вопросы для контроля:

1. Охарактеризуйте понятие «документ».
2. Какие виды документов вам известны?
3. Перечислите методы анализа документов.
4. В чем заключается метод экспертных оценок?
5. Что такое каталог? Его виды.
6. Расскажите о принципах ведения рабочих записей.
7. Какие виды рабочих записей вы знаете?
8. Как составляется уточненный список исходных источников информации?
9. В чём заключается разница между проектированием и конструированием?
10. Какие правила и нормы регламентируются Единой Системой Конструкторской Документации?
11. Кем формулируется и составляется Техническое Задание?

Тема 4. Классификация деталей машин

Ключевые вопросы темы

1. Классификация соединений.
2. Классификация передач.
3. Соединительные детали.
4. Методика и планирование эксперимента.

5. Материалы деталей машин.

Ключевые понятия: неразъёмные и разъёмные соединения, передачи упругие элементы, детали машин.

Литература: [3, с. 51–72]

Методические рекомендации

Не существует абсолютной, полной и завершённой классификации всех существующих деталей машин, т.к. конструкции их многообразны и, к тому же, постоянно разрабатываются новые.

Для ориентирования в бесконечном многообразии детали машин классифицируют на **типовые** группы по характеру их использования:

- ПЕРЕДАЧИ – передают движение от источника к потребителю.
- ВАЛЫ и ОСИ – несут на себе вращающиеся детали передач.
- ОПОРЫ – служат для установки валов и осей.
- МУФТЫ – соединяют между собой валы и передают вращающий момент.
- СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ ДЕТАЛИ (СОЕДИНЕНИЯ) – соединяют детали между собой.
- УПРУГИЕ ЭЛЕМЕНТЫ – смягчают вибрацию и удары, накапливают энергию, обеспечивают постоянное сжатие деталей.
- КОРПУСНЫЕ ДЕТАЛИ – организуют внутри себя пространство для размещения всех остальных деталей, обеспечивают их защиту.

Рамки учебного курса не позволяют изучить все разновидности деталей машин и все нюансы проектирования. Однако знание, по крайней мере, типовых деталей и общих принципов конструирования машин даёт инженеру надёжный фундамент и мощный инструмент для выполнения проектных работ практически любой сложности.

В следующих главах мы рассмотрим приёмы расчёта и проектирования типовых деталей машин.

Передачи

Современные машины приводятся в движение главным образом топливными и электрическими двигателями. В силу специфики законов термодинамики и электромагнетизма, эти двигатели более быстроходны, чем было бы удобно для человека, к тому же их скорость сложно и плохо регулируется. Возникает необходимость согласования режимов работы двигателя и исполнительного органа, с которым, собственно, и имеет дело оператор. Для этого созданы передачи.

Механическими передачами или просто передачами называются механизмы, которые преобразуют параметры движения от двигателя к исполнительным органам машины.

Механическая энергия передаётся, как правило, с преобразованием скоростей и вращающих моментов, а иногда с преобразованием вида и закона движения.

Передачи по принципу работы разделяются на:

- передачи **зацеплением**:
 - с непосредственным контактом (зубчатые и червячные);
 - с гибкой связью (цепные, зубчато-ременные);

- передачи **трением (сцеплением)** трущихся поверхностей):
 - с непосредственным контактом поверхностей (фрикционные);
 - с гибкой связью (ременные).

Вопросы для контроля:

1. Основные виды соединений.
2. Основные типы передач.
3. Конструкционные материалы.
4. Что является главнейшим критерием работоспособности и надёжности?
5. В чём заключается общее условие прочности деталей машин?
6. В чём разница между проектировочным и проверочным расчётами?
7. Каковы основные группы деталей машин общего назначения?

Тема 5. Стандартизация и взаимозаменяемость деталей машин

Ключевые вопросы темы

1. Основы стандартизации.
2. Основы унификации.
3. Категории стандартов.
4. Понятие взаимозаменяемости.

Ключевые понятия: стандартизация, унификация, взаимозаменяемость, ЕСКД, ЕСТД.

Литература: [7, с. 62–84]

Методические рекомендации:

Стандартизацией называется процесс установления и применения **стандартов** – документов, содержащих обязательные нормы, правила и требования, относящиеся к различным сторонам человеческой деятельности, в том числе к сфере проектирования, производства, эксплуатации и ремонта машин.

Наиболее распространенный и эффективный метод стандартизации – **унификация** – рациональное сокращение числа объектов одинакового функционального назначения, а также сведение к минимуму типоразмеров деталей и их элементов.

Стандартизация и унификация обеспечивают **взаимозаменяемость** деталей и узлов, т. е. возможность установки и замены их без предварительной подгонки. В свою очередь, взаимозаменяемость деталей – необходимое условие для организации специализированного и массового производства изделий, а также для его широкого кооперирования.

Кроме ГОСТов существуют следующие **категории стандартов**: республиканские стандарты (РСТ), отраслевые стандарты (ОСТ), стандарты предприятий (СТП).

На нестандартизованную продукцию предприятия и другие организации разрабатывают технические условия (ТУ).

В нашей стране созданы системы стандартов на отдельные стороны производственной деятельности, которые упорядочивают конструкторскую и технологическую документацию, а также подготовку производства, снижают их

трудоемкость и повышают производительность инженерно-технического труда. Такими системами стандартов в области машиностроения являются следующие.

Единая система конструкторской документации (ЕСКД), содержащая более ста государственных стандартов; эти стандарты устанавливают правила оформления и ведения проектно-конструкторской, эксплуатационной и ремонтной документации.

Единая система технологической документации (ЕСТД), содержащая около двадцати государственных стандартов, устанавливающих правила оформления и ведения технологической документации.

Единая система технологической подготовки производства (ЕСТПП), содержащая около двадцати государственных стандартов, устанавливающих систему организации и управления процессом технологической подготовки производства и предусматривающая широкое применение прогрессивных типовых технологических процессов, стандартной технологической оснастки и оборудования, средств механизации и автоматизации производственных процессов, инженерно-технических и управленческих работ.

Для оценки уровня стандартизации той или иной конструкции пользуются показателем, называемым *коэффициентом стандартизации деталей*, равным отношению количества стандартных деталей изделия к общему их количеству без учета крепежных деталей.

Вопросы для контроля:

1. Какие категории стандартов вам известны?
2. Что такое взаимозаменяемость?
3. Какие задачи у стандартизации?
4. Какие задачи у унификации?
5. Назначение ЕСТД, ЕСКД?
6. Как оценивается уровень стандартизации?

Тема 6. Основы прочностных расчётов

Ключевые вопросы темы

1. Проектный расчёт.
2. Проверочный расчёт.
3. Расчёт коэффициента запаса прочности
4. Факторы, влияющие на запас прочности
5. Виды нагрузок, действующих на детали машин.
6. Циклы напряжений и их параметры

Ключевые понятия: расчёт, коэффициент запаса прочности, статические и динамические нагрузки, циклические нагрузки.

Литература: [5, с. 70–84]

Методические рекомендации

Для того чтобы составить математическое описание объекта расчета и по возможности просто решить задачу, в инженерных расчетах реальные конструкции заменяют идеализированными моделями или расчетными схемами. Например, при расчетах на прочность, по существу, сплошной и неоднородный материал деталей рассматривают как сплошной и однородный, идеализируют опоры, нагрузки и форму деталей. При этом

расчет становится приближенным. В приближенных расчетах большое значение имеют правильный выбор расчетной модели, умение оценить главные и отбросить второстепенные факторы.

Погрешности приближенных расчетов существенно снижаются при использовании опыта проектирования и эксплуатации аналогичных конструкций. В результате обобщения предшествующего опыта вырабатывают нормы и рекомендации, например нормы допускаемых напряжений и коэффициентов запасов прочности, рекомендации по выбору материалов, расчетной нагрузки и пр. Эти нормы и рекомендации в приложении к расчету конкретных деталей приведены в соответствующих разделах учебника. Здесь отметим, что *неточности расчетов на прочность компенсируют в основном за счет запасов прочности.* При этом *выбор коэффициентов запасов прочности становится весьма ответственным этапом расчета.* Заниженное значение запаса прочности приводит к разрушению детали, а завышенное – к неопределенному увеличению массы изделия и перерасходу материала. В условиях большого объема выпуска деталей общего назначения перерасход материала приобретает весьма важное значение.

Факторы, влияющие на запас прочности, многочисленны и разнообразны: степень ответственности детали, однородность материала и надежность его испытаний, точность расчетных формул и определения расчетных нагрузок, влияние качества технологии, условий эксплуатации и пр. Если учесть все разнообразие условий работы современных машин и деталей, а также методов их производства, то станут очевидными большие трудности в отдельной количественной оценке влияния перечисленных факторов на величину запасов прочности. Поэтому в каждой отрасли машиностроения, основываясь на своем опыте, вырабатывают свои нормы запасов прочности для конкретных деталей. Нормы запасов прочности не являются стабильными. Их периодически корректируют по мере накопления опыта и роста уровня техники.

В инженерной практике встречаются два вида расчета: проектный и проверочный. *Проектный расчет* – предварительный, упрощенный расчет, выполняемый в процессе разработки конструкции детали (машины) в целях определения ее размеров и материала. *Проверочный расчет* – уточненный расчет известной конструкции, выполняемый в целях проверки ее прочности или определения норм нагрузки.

При проектном расчете число неизвестных обычно превышает число расчетных уравнений. Поэтому некоторыми неизвестными параметрами задаются, принимая во внимание опыт и рекомендации, а некоторые второстепенные параметры просто не учитывают. Такой упрощенный расчет необходим для определения тех размеров, без которых невозможна первая чертежная проработка конструкции. В процессе проектирования расчет и чертежную проработку конструкции выполняют параллельно. При этом ряд размеров, необходимых для расчета, конструктор определяет по эскизному чертежу, а проектный расчет приобретает форму проверочного для намеченной конструкции. В поисках лучшего варианта конструкции часто приходится выполнять несколько вариантов расчета. В сложных случаях поисковые расчеты удобно выполнять на ЭВМ. То

обстоятельство, что конструктор сам выбирает расчетные схемы, запасы прочности и лишние неизвестные параметры, приводит к неоднозначности инженерных расчетов, а следовательно, и конструкции. В каждой конструкции отражаются творческие способности, знание и опыт конструктора. Внедряются наиболее совершенные решения.

Виды нагрузок, действующих на детали машин

В процессе эксплуатации каждая машина испытывает различные виды нагрузок. Познакомимся с некоторыми из них.

Рабочей нагрузкой называют силу или момент воспринимаемые деталью или узлом в процессе эксплуатации изделия.

Рабочая нагрузка может быть *постоянной или переменной* в зависимости от характера ее изменения во времени. К постоянной можно отнести, например, нагрузку от собственного веса.

При эксплуатации детали машин, как правило, испытывают переменные нагрузки, характер которых зависит от систематических или случайных факторов, вызывающих эти нагрузки.

В зависимости от способа воздействия на деталь нагрузки могут быть *статическими и динамическими*.

Статические нагрузки обычно бывают постоянными без возникновения колебаний системы. Динамические нагрузки вызывают удар или колебания системы. В связи с переменным характером рабочих нагрузок вводят понятия о *номинальной, эквивалентной и расчетной* нагрузках.

Максимальная или длительно действующая нагрузка в установившемся режиме называется номинальной. Номинальные мощность, момент, частота вращения, скорость и т.д.

Эквивалентной называется такая постоянная нагрузка, которой можно заменить фактические действующую переменную рабочую нагрузку, считая ее равноценной в отношении соответствующих критериев надежности.

Расчетной называется условная постоянная нагрузка, определяемая (рабочей нагрузкой) с учетом ее характера воздействия на объект. Она служит для определения размеров деталей машин

Циклы напряжений и их параметры

Одним из главных факторов, определяющих величину напряжений, является вид и характер изменения во времени нагрузок, действующих на деталь.

Статистическое нагружение вызывает в материале детали постоянное напряжение, которое не изменяется в течение длительного времени ни по величине, ни по направлению.

Переменные нагрузки вызывают соответственно переменные напряжения. Детали, длительное время подвергающиеся повторно-переменной нагрузке, разрушаются при напряжениях значительно меньших предела прочности материала при статистическом нагружении. Приблизительно 80 % всех поломок и аварий, происходящих при эксплуатации машин, вызвано усталостными явлениями (циклическими нагрузками).

Циклические нагрузки наиболее явно выражены в машинах и механизмах с возвратно-поступательным движением звеньев (поршневые машины, кулачковые механизмы). Однако и в механизмах вращательного движения циклические нагрузки неизбежны (зубчатые передачи, валы). В современных машинах в большинстве случаев напряжения изменяются циклически с большей или меньшей частотой и амплитудой.

Пульсирующее нагружение в соответствии с *отнулевым циклом* (когда напряжения изменяются от нуля до максимума) имеют: зубья зубчатых колес при работе в одну сторону, толкатели и шатуны тихоходных механизмов с малой нагрузкой холостого хода, нереверсивные валы (напряжения кручения).

Знакопеременный симметричный цикл. Здесь наибольшие и наименьшие напряжения противоположны по знаку и одинаковы по модулю (напряжения изгиба при вращении валов и осей).

Знакопеременный *асимметричный* цикл – это наиболее общий случай нагружения деталей машин.

Число циклов нагружения, которые материал выдерживает до разрушения, зависит от максимального напряжения и амплитуды цикла. По мере уменьшения напряжений число циклов до разрушения детали увеличивается и при некотором достаточно малом напряжении становится неограниченно большим. Это напряжение называют *пределом выносливости* и кладут в основу расчета деталей машин, подверженным циклическим нагрузкам.

Методы определения допускаемых напряжений

Существуют два метода выбора допускаемых напряжений:

а) Табличный метод – конкретен, прост, удобен для пользования. Широко используется в НИИ, на заводах, СКТБ...

В зависимости от материала, вида термической обработки, технологии изготовления, цикла нагружения приведены в таблицах заранее рассчитанные значения допускаемых напряжений для отдельных видов деталей.

б) Дифференциальный метод, заключающийся в том, что допускаемое напряжение определяется по формуле, учитывающей основные факторы, влияющие на прочность детали.

Вопросы для контроля:

1. Какие Вы знаете методы определения допускаемых напряжений?
2. Что такое знакопеременный цикл?
3. Что такое пульсирующее нагружение?
4. Охарактеризуйте нормальную и эквивалентную нагрузки.
5. В чём разница между проектным и проверочным расчётами?

Тема 7. Технологичность конструкций

Ключевые вопросы темы

1. Методы повышения производительности.
2. Особенности методов, повышающих технологичность.
3. Повышение критериев работоспособности изделия.
4. Роль автоматизации производства в повышении технологичности.

Ключевые понятия: трудоёмкость, технологичность, групповая обработка, технологическая подготовка.

Литература: [9, с. 88–101]

Методические рекомендации

Отработка конструкции изделия на технологичность направлена на повышение производительности труда, снижение затрат и сокращение времени на проектирование, технологическую подготовку производства, изготовление, техническое обслуживание и ремонт изделия при обеспечении необходимого качества изделия (ГОСТ 14.201-93).

Чертежи и технические условия на изготовление, и приемку изделий поступают к технологу от конструкторов основного производства в качестве обязательных для выполнения документов. Однако во многих случаях технолог совместно с конструктором обязан подвергнуть эти чертежи анализу с точки зрения удобства изготовления деталей и возможности построения наиболее производительных и экономичных технологических процессов, т. е. с точки зрения технологичности конструкции.

Конструкция изделия может быть признана технологичной, если она обеспечивает простое и экономичное изготовление этого изделия. Повышение технологичности конструкции изделия предусматривает проведение комплекса различных мероприятий, в числе которых необходимо отметить наиболее важные, приведенные ниже.

1. Уменьшение общего количества звеньев в кинематической схеме машины. Уменьшение трудоемкости изготовления машины при этом достигается не только за счет сокращения числа ее деталей (что само по себе видно, так как трудоемкость и масса обычно пропорциональны числу деталей) и упрощения сборки, но также благодаря снижению требований к точности деталей, входящих в расчетные размерные цепи машины, и к точности обработки присоединительных поверхностей этих деталей.

2. Создание конфигурации деталей и подбор их материалов, позволяющие применение наиболее совершенных исходных заготовок, сокращающих объем механической обработки (точное и кокильное литье, литье под давлением, горячая цветная прессовка и объемная штамповка, холодная штамповка различных видов и т.п.

3. Простановка размеров в чертежах с учетом требований их механической обработки и сборки, позволяющая выполнять обработку по принципу автоматического получения размеров на настроенных станках, автоматах и полуавтоматах и обеспечивать совмещение конструкторских, измерительных и технологических баз.

Целесообразная последовательность операций обработки отдельных поверхностей должна учитываться не только при простановке размеров на детали, имеющие необработанные поверхности, но также должна приниматься во внимание и при проектировании деталей, участки которых значительно отличаются по точности и шероховатости, а следовательно, изготавливаются различными видами обработки.

4. Упрощение конфигурации, отдельных деталей, предельно возможное расширение допусков на изготовление и снижение, требований к шероховатости обрабатываемых поверхностей с целью уменьшения объема и облегчения механической обработки.

5. Создание конфигурации деталей, позволяющей применение наиболее совершенных и производительных методов механической обработки (обработка многорезцовым фасонным и многолезвийным инструментом, накатывание и вихревое нарезание резьбы, применение агрегатных и специальных станков и автоматов, поточных и автоматических линий).

6. Проведение нормализации и унификации деталей и сборочных единиц выпускаемых изделий, являющихся предпосылками типизации технологических процессов, унификации режущего и мерительного инструмента, а также внедрения групповой обработки.

7. Создание конструкции изделия, позволяющей проведение операционной сборки по принципам полной или частичной взаимозаменяемости, что является одним из основных условий организации поточной сборки. Осуществление указанных мероприятий представляет собой сложную задачу, решение которой требует глубокого анализа конструкции изделия и технологии производства.

Вследствие того, что проведение отдельных из перечисленных мероприятий может противоречить остальным, окончательное решение вопроса о наиболее технологичной конструкции изделия должно приниматься с учетом общей экономичности изготовления изделия в целом для завода. Так, например, стремление к созданию конструкции, состоящей из минимального количества взаимозаменяемых деталей, может пойти в разрез с принципом конструирования наиболее простых деталей, имеющих предельно широкие допуски. При этом должны приниматься во внимание и организационные вопросы, связанные с изготовлением рассматриваемой конструкции изделия, которые могут способствовать выпуску или затруднить его (вопросы межцеховой или межзаводской кооперации, загрузки определенных видов оборудования, возможности пополнения станочного парка, получения определенных исходных заготовок и т. д.).

Из сказанного следует, что понятие технологичности конструкции, по существу, не может быть абсолютным, что оно меняется вместе с развитием производства и технологии и для разных типов производства и даже для различных по характеру и уровню технологии предприятий, принадлежащих к одному типу производства, это понятие неодинаково. Так, например, на предприятиях единичного производства, применяющих станки с ЧПУ, требования к технологичности конструкции отличаются от требований, предъявляемых к таким же деталям, обрабатываемым на универсальных станках. С развитием технологии производства требования к технологичности конструкции изменяются, поэтому само представление о технологичности со временем также претерпевает изменения.

Технологичность конструкции может быть объективно оценена путем расчета количественных показателей технологичности по ГОСТ 14.201-83, ГОСТ 14.204-93.

Изложенное выше показывает, что конструкторская и технологическая подготовки производства тесно взаимосвязаны. Требования конструкции изделия и его чертеж в значительной мере определяют содержание технологического процесса, его построение, применяемые виды обработки, оборудование и инструменты. С другой стороны, принятая технология производства предъявляет свои требования к конструкции изготавливаемого изделия, к ее технологичности, что делает необходимым проведение большой по объему и сложной совместной работы технолога и конструктора.

Вопросы для контроля:

1. На что направлена отработка изделия на технологичность?
2. Перечислите мероприятия, с помощью которых повышают технологичность.
3. Что такое групповая обработка?
4. Что позволяет достигнуть нормализация и унификация?
5. Как влияет автоматизация производства на технологичность изделия?

Тема 8. Экономические основы конструирования машин

1. Коэффициент использования машины.
2. Экономический эффект и его показатели.
3. Величина полезной отдачи машины.
4. Принцип агрегатирования.

Ключевые понятия: амортизация, себестоимость, рентабельность, срок окупаемости, экономический эффект.

Литература: [8, с. 108–117]

Методические рекомендации:

Целью создания практически любой машины является получение какого-либо продукта или выполнение производственного процесса с экономическим эффектом (с прибылью). Естественно, что и конструкция машины не должна заслонять основной цели – увеличения экономического эффекта.

На первый взгляд, кажется, что экономически конструировать – значит уменьшать стоимость изготовления машины, избегать сложных и дорогих решений, применять наиболее дешевые материалы и наиболее простые способы обработки. Однако, это только небольшая часть задачи. Главное значение имеет то, что экономический эффект определяется величиной полезной отдачи машины и суммой эксплуатационных расходов за весь период работы машины. Стоимость машины является только одним не всегда главным, а иногда и очень незначительным составляющим этой суммы.

Экономически направленное конструирование должно учитывать весь комплекс факторов, определяющих экономичность машины и правильно оценивать относительное значение этих факторов. Это правило часто игнорируют. Стремясь к удешевлению продукции, конструктор нередко добивается экономии в одном направлении и не замечает других, гораздо более эффективных путей повышения экономичности. Более того, частная экономия, осуществляемая без учета совокупности всех факторов, нередко ведет к снижению суммарной экономичности машин.

Главными факторами, определяющими экономичность машин, являются величина полезной отдачи машины, долговечность, надежность, расходы на оплату труда операторов, потребление энергии и стоимость ремонтов.

Коэффициент использования машины представляет собой отношение времени фактической работы машины за определенный период к длительности этого периода.

Экономический эффект. Годовой экономический эффект от работы машины (годовой доход)

$$Q = O_T - P = O_T \left(1 - \frac{P_T}{O_T} \right) = O_T \left(1 - \frac{1}{q} \right),$$

где O_T – годовая отдача, руб./год; P – сумма эксплуатационных расходов, руб./год.

Отдача машины и эксплуатационные расходы, за исключением $\sum A_m$ и $\sum P_m$, пропорциональны продолжительности фактической работы h за период эксплуатации. Амортизационные расходы за период эксплуатации равны стоимости C машины. Ремонтные расходы не находятся в прямой зависимости от h ; их размер и периодичность определяются условиями эксплуатации и надежностью машины.

Повышение отдачи может выражаться или в увеличении числа единиц продукции или в увеличении стоимости каждой единицы (повышение качества продукции, увеличение объема операции, выполняемых над заготовкой).

На практике, как правило экономический эффект в наибольшей степени зависит от величины полезной отдачи и долговечности машины. Эти факторы должны стоять в центре внимания при конструировании машин. Столь же большое значение имеет надёжность, определяющая общий объём и стоимость ремонтов, производимых за время эксплуатации машин.

На практике расходы на ремонт могут достигать очень большой величины, превышая в некоторых случаях стоимость машин в несколько раз. Иногда расходы на ремонт поглощают большую часть доходов, приносимых машиной, что делает эксплуатацию машины нерентабельной.

В настоящее время назрела задача перехода на безремонтную эксплуатацию, под этим понимают:

- устранение капитальных ремонтов;
- устранение восстановительного ремонта и замена его комплектационным ремонтом, осуществляемым сменой износившихся деталей, узлов и агрегатов;
- устранение вынужденных ремонтов, вызванных поломкой и износом деталей, систематическим проведением планово-предупредительных ремонтов.

Перевод на безремонтную эксплуатацию является комплексной задачей. Предпосылками решения этой задачи являются:

- увеличение срока службы изнашивающихся деталей;
- построение машины по агрегатному принципу, допускающему независимую смену изнашивающихся пар деталей и узлов;

-создание на машинах неизнашивающихся фиксирующих поверхностей, служащих базами при установке сменных деталей.

Конструктивным мероприятиям должны сопутствовать организационно-технические, главным из которых является централизованное изготовление запасных деталей и узлов.

Из сказанного выше отнюдь не вытекает, что конструктор может ослабить внимание к задаче уменьшения стоимости машин. Как было показано, роль фактора стоимости зависит от категории машин и может быть значительной у машин с малыми энергопотреблением, и расходами на труд, а также у машин с относительно небольшим периодом службы. Необходимо только правильно оценивать значение этого фактора среди других факторов повышения, экономичности и уметь поступиться им в случаях, когда уменьшение стоимости вступает в противоречие с требованиями увеличения полезной отдачи, долговечности и надежности.

Решение всех перечисленных выше задач следует положить в основу деятельности конструктора, который должен, во-первых, задавать тон «политике машиностроения», во-вторых, создавать конструкции, обеспечивающие увеличение экономической эффективности машины, сокращение эксплуатационных расходов и уменьшение стоимости машиностроительной продукции в целом.

Полезная отдача выражается стоимостью продукции или полезной работы, выполняемой машиной в единицу времени. Величина полезной отдачи зависит от производительности машин, т. е. от числа операций (или единиц работы), ею выполняемых в единицу времени, и от стоимости операций (единиц работы).

Увеличение отдачи является комплексной задачей, решение которой во многом зависит от правильности эксплуатации. Для автомашин, например, эксплуатационные средства повышения отдачи заключаются в сокращении холостых пробегов, увеличении технической скорости езды, повышении грузоиспользования (применение прицепов) и т. д. Производительность машин-орудий повышают интенсификацией технологических операций применением приспособлений и специальной оснастки.

В основном же эту задачу необходимо решать конструктивными мероприятиями. Машине должна быть придана наибольшая возможная производительность, согласованная с реальными требованиями производства и перспективами его развития. Рабочие органы машины следует рассчитывать на максимальный объем операций с соответствующим выбором ее кинематики, мощности, прочности и жесткости.

Главными способами повышения производительности машин являются:

- увеличение числа одновременно осуществляемых над изделием операций;
- увеличение числа одновременно обрабатываемых изделий;
- сокращение длительности технологического цикла;
- автоматизация технологического процесса.

Первый способ получил наиболее полное выражение в конструкции агрегатных металлообрабатывающих станков, позволяющих обрабатывать

детали одновременно по нескольким или всем поверхностям. Другим примером могут служить многорезцовые токарные автоматы.

Представителями второго способа являются роторные машины, на которых одновременно обрабатывают большое число деталей. Другой пример – групповая обработка одновременно нескольких деталей в многоместных приспособлениях.

Вопросы для контроля:

1. Дайте определение себестоимости.
2. Дайте определение рентабельности.
3. Назовите показатели экономического эффекта.
4. На чём основан принцип агрегатирования?
5. Перечислите основные способы повышения производительности.
6. Из чего складывается трудоёмкость?

2 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ

Практические занятия проводятся с целью формирования у студентов умений и навыков интерпретации и обработки результатов научных исследований.

Практические занятия по дисциплине «Расчет и конструирование деталей и узлов изделий машиностроения» являются важной составной частью учебного процесса изучаемого курса, поскольку помогают лучшему усвоению курса дисциплины, закреплению знаний.

Расчет необходимо производить с соблюдением следующей методики:

- внимательно прочесть условие задачи или задания;
- определиться с тем, какие исходные величины или параметры даны, что они собой представляют;
- выяснить какие параметры или величины требуется рассчитать, а какие выбрать из справочных материалов;
- понять, какие дополнительные исходные данные можно получить из справочных материалов;
- большое внимание обращать на единицы измерения всех величин, фигурирующих в задаче или задании;
- понять алгоритм решения данной задачи (при необходимости построить схему или проанализировать формулы, используемые при решении);

Темы занятий предполагают выполнение заданий, согласно варианту.

Решение каждого задания оформляется студентом в его тетради для практических занятий.

В ходе самостоятельной подготовки студентов к практическому занятию необходимо не только воспользоваться литературой, рекомендованной преподавателем, но и проявить самостоятельность в отыскании новых источников, связанных с темой практического занятия.

Тематический план практических (ПЗ) занятий представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Объем (трудоемкость освоения) и структура ПЗ направления «Машиностроение»

Номер темы	Содержание практического (семинарского) занятия
1	Изучение конструкции цилиндрических зубчатых редукторов
2	Изучение конструкции червячных редукторов
3	Испытание болтового соединения, работающего на сдвиг
4	Упругое скольжение во фрикционной передаче
5	Изучение цилиндрического зубчатого редуктора
6	Определение параметров эвольвентного зубчатого колеса

Практическая работа № 1: Изучение конструкции цилиндрических зубчатых редукторов

Цель работы: ознакомиться с устройством цилиндрического редуктора; изучить особенности обслуживания редуктора в эксплуатации (регулирование зубчатых зацеплений, подшипников, проверка и залив масла); получение практических умений и навыков установления основных кинематических параметров цилиндрического редуктора.

Порядок выполнения работы

1. Определить характерные особенности редуктора: тип, количество ступеней, конструктивные особенности входного и выходного валов, способы смазки зубчатых колес и подшипников, методы регулирования подшипников. Составить кинематическую схему.

2. Произвести обмеры редуктора. Оценить каждый размер редуктора с точки зрения его конструктивного предназначения, т.е. указать, в какую группу размеров он входит (габаритные, установочные или присоединительные).

3. Разобрать редуктор. Замерить межосевые расстояния. Определить параметры зубчатых передач и опор валов.

4. Используя результаты замеров, произвести расчет основных геометрических параметров редуктора.

5. По предложенным данным выполнить кинематический редуктора.

6. Начертить эскиз одного из валов редуктора.

Контрольные вопросы

1. Дать характеристику кинематической схемы изучаемого редуктора.

2. Какой способ установки зубчатых колес на валах применен в данном редукторе?

3. Указать назначение отдельных элементов корпуса редуктора.

4. Как регулируются осевые зазоры подшипников редуктора?

5. Охарактеризовать способ смазки зубчатых колес редуктора.

6. Как смазываются подшипники данного редуктора?

7. Где и с помощью каких элементов обеспечивается заливка, контроль уровня и слив смазки?

8. Дать характеристику уплотнений в местах выхода валов из корпуса редуктора.

9. Дать определение модуля и шага зацепления в зубчатых передачах.

10. Как определить окружную скорость в зацеплении?

11. Для чего применяют смещение при нарезании зубьев?

Практическая работа 2. Изучение конструкции червячных редукторов

Цель работы: получение практических умений и навыков определения геометрических, кинематических и энергетических параметров зацепления и

редуктора, ознакомиться с конструкцией, особенностями регулировки зацепления, подшипников и их смазкой.

Порядок выполнения работы

1. Изучить методические указания к лабораторной работе. Обратит внимание на эксплуатационные вопросы: особенности конструкции данного редуктора, регулировка зацепления и подшипников, смазка, температурный режим.

2. Измерить габаритные и присоединительные размеры.

3. Разобрать редуктор. Измерить межосевое расстояние с помощью рейсмаса (по корпусным деталям) с точностью, обеспечиваемой мерительным инструментом (до 0,1 мм).

4. Замерить основные параметры червяка, червячного колеса, подшипников.

5. Используя результаты замеров, произвести расчет основных геометрических параметров редуктора. Выписать стандартные размеры и величины.

6. Выполнить кинематический и энергетический расчеты по индивидуальным заданиям.

7. Вычертить кинематическую схему редуктора.

8. Нанести основные размеры на эскизной компоновке.

9. Проработать контрольные вопросы.

Контрольные вопросы

1. Каково назначение редуктора?

2. Каковы достоинства и недостатки червячных редукторов в сравнении с зубчатыми?

3. Какие детали участвуют в передаче вращающего момента?

4. Какие материалы и виды термообработки и механической обработки используют для изготовления червяка?

5. Какие материалы используются для изготовления червячных колес?

6. Как фиксируются от осевого смещения валы редуктора?

7. Как производится регулирование осевых зазоров подшипников?

8. Как регулируется и проверяется правильность червячного зацепления?

9. Какие факторы влияют на КПД червячного редуктора?

10. Как осуществляется смазка зацепления?

11. Как смазываются подшипники?

12. Каковы типы уплотнений подшипниковых узлов?

13. Каковы способы охлаждения червячных редукторов?

14. Каково назначение штифтов между крышкой и корпусом редуктора?

Практическая работа 3. Испытание болтового соединения, работающего на сдвиг

Цель работы: получение практических умений и навыков теоретического и экспериментального определения зависимости сдвигающей силы F_r от момента завинчивания $T_{зав}$; построения графиков зависимости $F_r = f(T_{зав})$ по теоретическим и экспериментальным данным.

Порядок выполнения работы

1. По указанию преподавателя подобрать болт для испытуемого соединения.

2. Измерить наружный диаметр болта. Результат измерения согласовать с ГОСТ 24705-81

3. Измерить наружный диаметр опорного торца гайки D_1 и диаметр отверстия под болт d_0 . Результаты измерений занести в таблицу

4. Записать в таблицу данные отчета исходные данные для теоретического определения силы сдвига F_r .

5. Собрать приспособление ДМ 23 М, установив болт ранее принятого размера.

6. Затянуть гайку болта динамометрическим ключом. Момент затяжки $T_{зав} = 20$ Н·м. Рукоятку ключа поворачивать плавно и непрерывно до показания на шкале принятого момента затяжки.

7. Вращением маховика выбрать установочный зазор.

8. Нагрузить соединение. С этой целью маховик 12 вращать до тех пор, пока стрелка индикатора не остановится, а затем быстро переместится в обратном направлении.

В этот момент сила сдвига F_r и силы трения в стыках уравниваются, происходит раскрытие стыка и соединение не воспринимает нагрузку, превышающую силу трения покоя. Показания индикатора, соответствующие $T_{зав} = 20$ Н·м, занести в таблицу.

9. Без снятия предыдущей затяжки повторить действия, указанные в пп. 8, 9 и 10, но при $T_{зав} = 30; 40; 50; 60; 70; 80$ Н·м. Результаты опыта занести в таблицу.

10. Вычислить значения F_r . Результаты вычислений занести в таблицу.

Контрольные вопросы

1. Почему для крепежных изделий (болтов, винтов) применяются резьбы с треугольным профилем?

2. Как производится расчет болтов, нагруженных силой затяжки и крутящим моментом затяжки?

3. Как выражается условие нераскрытия стыка соединения, нагруженного поперечными силами (болты поставлены с зазором)?

4. Какова зависимость между осевой силой на винте и силой, момент которой скручивает винт?

5. Каково условие самоторможения винтовых пар?

Практическая работа 4. Упругое скольжение во фрикционной передаче

Цель работы: получение практических умений и навыков исследования кинематики лобовой фрикционной передачи, построения графика зависимости $\varepsilon = f(T_2)$.

Порядок выполнения работы

1. Установить ведущий диск.
2. Установить ролик 10 с помощью маховичка 12 и шкалы так, чтобы передаточное отношение фрикционной передачи было $i = 1$ ($R_1 = 27,5$ мм)
3. Прижать ролик 10 к диску 7 с помощью гайки 20 подъемного винта. Силу прижатия принять равной 50 Н (50 делений индикатора).
4. Повернуть ручку 16 в крайнее левое положение, что соответствует номинальной частоте вращения двигателя $n_{дв} = 1000$ мин⁻¹ при $T_2 = 0$ (холостой ход). Крайнее левое положение ручки сохранять в течение всего опыта.
5. Повернуть ручку 22 в крайнее левое положение, что соответствует моменту на валике ролика $T_2 = 0$.
6. Тумблером 14 включить прибор в сеть.
7. Тумблером 15 включить электродвигатель.
8. Тумблером 21 включить нагрузочное устройство.
9. Прогреть нагрузочное устройство 5 в течение 5 мин, плавно увеличивая момент поворотом ручки 22. После прогрева ручку 22 вернуть в крайнее левое положение ($T_2 = 0$).
10. Настроить индикаторы 2 и 3 на нулевую отметку шкалы при работающем двигателе.
11. Нажатием кнопок установить нулевые показания счетчиков импульсов 17 и 19.
12. При моменте $T_2 = 0$ включить счетчики 17 и 19 на 1 мин. Показания счетчиков заносятся в таблицу.
13. Повторить действия, указанные в пунктах 11 и 12, но для моментов $T_2 = 100, 200, 300, 400, 500$ Н·мм.
14. По данным таблицы отчета и формуле (3.1) определить коэффициенты упругого скольжения ε .
15. Построить график $\varepsilon = f(T_2)$.

Контрольные вопросы

1. Чем вызывается упругое скольжение во фрикционной передаче? В чем его отличие от геометрического скольжения?
2. Каковы отрицательные последствия упругого скольжения?
3. Каковы способы понижения упругого скольжения?

Практическая работа 5. Изучение цилиндрического зубчатого редуктора

Цель работы: 1. Изучение конструкции редуктора и ознакомление с основными требованиями, предъявляемыми к его сборке.

2. Определение основных параметров редуктора.

3. Определение размеров зубчатых колес и передач.

Порядок выполнения работы

1. Определить основные, габаритные и присоединительные размеры редуктора (рис. 1). Результаты измерений занести в таблицу отчета.

Под габаритными понимают три наибольших размера редуктора по длине, высоте и ширине. Эти размеры принимаются во внимание при размещении редуктора в приводном устройстве.

Присоединительные размеры определяют расстояния и взаимное расположение поверхностей присоединения редуктора по отношению к другим деталям. К ним относятся: размеры установочной плоскости, которой редуктор устанавливается на плиту или раму; размеры отверстий под болты для крепления редуктора и размеры, определяющие расположение этих отверстий; размеры выходных концов быстроходного и тихоходного валов и размеры, определяющие их расположение относительно друг друга и относительно установочной плоскости.

Межосевое расстояние

$$a = N - \frac{d_6}{2} - \frac{d_T}{2},$$

где d_6 , d_T – диаметры концов быстроходного и тихоходного валов.

2. Разобрать редуктор:

- а) отвернуть пробку 19 и слить масло;
- б) отвернуть гайки, вынуть болты, снять крышку 9 редуктора, предварительно отжав ее винтом;
- в) вынуть закладные крышки и регулировочные кольца;
- г) вынуть валы с насаженными на них деталями. По мере изучения конструкции деталей и замеров валы укладывать на подставки;
- д) снять закладные сквозные крышки;
- е) ознакомиться с конструкцией и назначением всех деталей редуктора.

3. Определить параметры зубчатых колес (рис. 2). Результаты замеров и подсчетов занести в таблицу отчета:

- а) подсчитать число зубьев колес и шестерен быстроходной и тихоходной ступеней;
- б) измерить диаметры вершин зубьев колес и шестерен;
- в) измерить ширину венцов зубчатых колес;
- г) определить направление линии зубьев колес (см. по стрелке А);
- д) определить угол наклона линии зубьев.

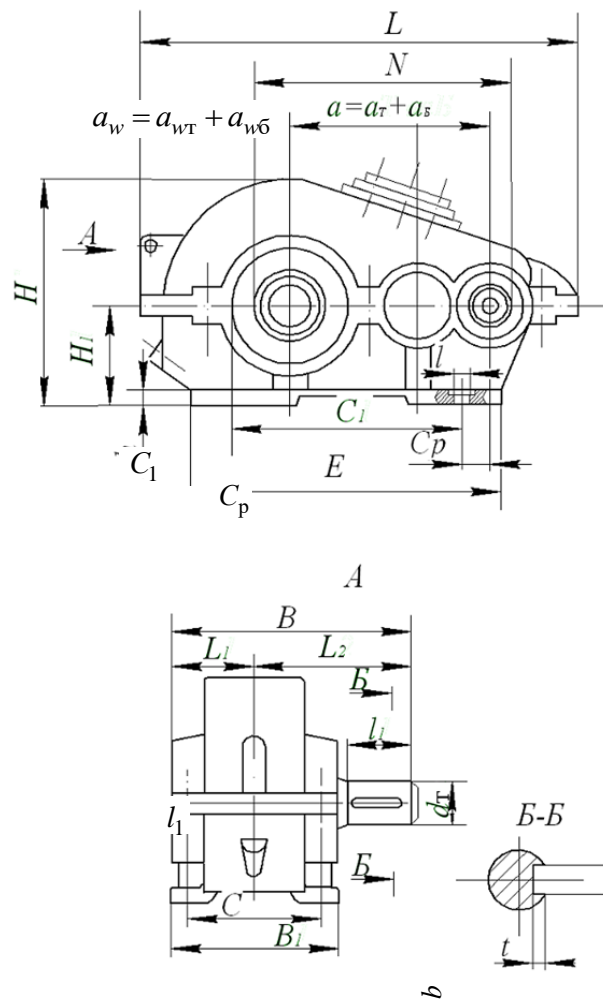


Рисунок 1. Основные размеры редуктора

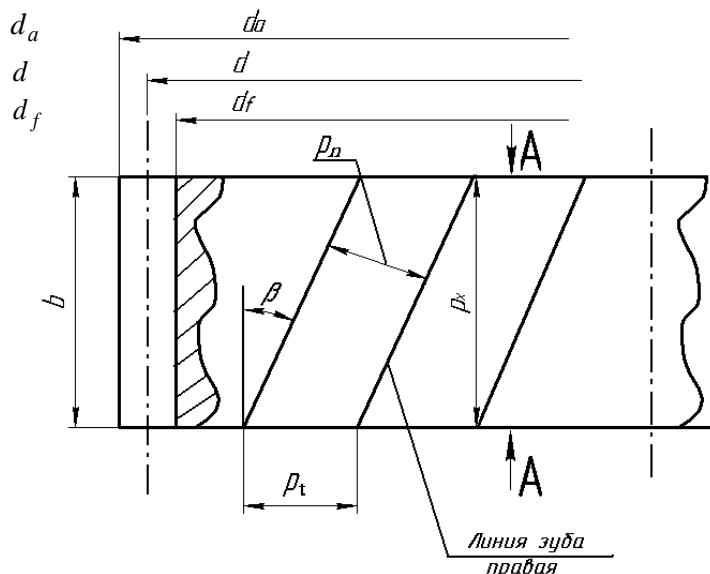


Рисунок 2. К определению размеров зубчатого колеса:

$p_n = \pi \cdot m_n$ – нормальный шаг; $p_t = \pi \cdot m_t$ – окружной шаг; $p_x = p_n \cdot \sin \beta$ – осевой шаг

4. Сборка редуктора производится в обратной последовательности.

Контрольные вопросы

1. Назначение, устройство и классификация редукторов.
2. Конструкции уплотнительных устройств.
3. Способы смазывания передач и подшипников редуктора.
4. С какой целью ширина венца шестерни принимается на 3–5 мм больше ширины венца колеса?

Практическая работа 6. Определение параметров эвольвентного зубчатого колеса

Цель работы: получение практических умений и навыков в области практических методов определения основных параметров зубчатых колес.

Порядок выполнения работы

1. Сосчитать число зубьев колеса z .
2. Определить число охватываемых зубьев z_n , измерить пять раз длины общей нормали W_n и W_{n+1} .
3. Вычислить: среднее арифметическое значение длин W_n и W_{n+1} ; шаг по основной окружности p_b ; модуль зацепления тремя способами (округлить по ГОСТ 9563-60); диаметр делительной окружности d ; диаметр вершин d_a ; диаметр впадин d_f ; полную высоту зуба h .
4. Измерить диаметры вершин d_a' и диаметр впадин d_f' .
5. Сравнить расчетные результаты параметров d_a и d_f с измеренными d_a' и d_f' и сделать вывод о достоверности полученных результатов. При расхождении расчетных и измеренных диаметров более, чем на 5 % измерения W_n и W_{n+1} необходимо повторить.

Контрольные вопросы

1. Что такое длина общей нормали?
2. Почему эвольвентное зацепление имеет преимущественное применение?
3. Что такое шаг и модуль зацепления; их виды?
4. Как определяют начальный и делительный диаметры зубчатого колеса?
5. Как вычисляют диаметры вершин и впадин зубьев?
6. По какому модулю определяют делительные диаметры зубчатых колес с прямыми, косыми и шевронными зубьями?
7. Какое минимальное число зубьев допускается для колес различных видов зубчатых колес?
8. Какое максимальное передаточное число допускается для одной пары различных видов зубчатых передач.

3 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

Лабораторные работы проводятся с целью формирования у студентов умений и навыков интерпретации и обработки результатов научных исследований.

Лабораторные работы по дисциплине «Расчет и конструирование деталей и узлов изделий машиностроения» являются важной составной частью учебного процесса изучаемого курса, поскольку помогают лучшему усвоению курса дисциплины, закреплению знаний.

В ходе самостоятельной подготовки студентов к лабораторным работам необходимо не только воспользоваться литературой, рекомендованной преподавателем, но и проявить самостоятельность в отыскании новых источников, связанных с темой практического занятия.

Тематический план практических (ЛР) занятий представлен в таблице 4.

Таблица 4 – Объем (трудоёмкость освоения) и структура ЛР направления «Машиностроение»

Номер темы	Содержание практического (семинарского) занятия
1	Испытание болтового соединения, работающего на сдвиг
2	Определение коэффициента трения в резьбе на торце гайки
3	Упругое скольжение во фрикционной передаче
4	Изучение работы ременной передачи
5	Определение параметров цилиндрического зубчатого редуктора
6	Определение параметров червячного редуктора
7	Определение КПД многоступенчатого редуктора
8	Определение КПД червячного редуктора
9	Определение момента трения в подшипниках качения
10	Кинематическое исследование и определение КПД планетарного редуктора

Лабораторная работа № 1

Испытание болтового соединения, работающего на сдвиг

Цель: получение практических умений и навыков испытания болтового соединения, работающего на сдвиг.

Задание на лабораторную работу: теоретическое и экспериментальное определение зависимости сдвигающей силы Fr от момента завинчивания $T_{ззв}$. Построение графиков зависимости $Fr=f(T_{ззв})$ по теоретическим и экспериментальным данным.

Контрольные вопросы:

1. Почему для крепежных изделий (болтов, винтов) применяются резьбы с треугольным профилем?
2. Как производится расчет болтов, нагруженных силой затяжки крутящим моментом затяжки?
3. Как выражается условие нераскрытия стыка соединения, нагруженного поперечными силами (болты поставлены с зазором)?
4. Какова зависимость между осевой силой на винте и силой, момент которой скручивает винт?
5. Каково условие самоторможения винтовых пар?

Лабораторная работа № 2

Определение коэффициента трения в резьбе на торце гайки

Цель: получение практических умений и навыков определения коэффициента трения в резьбе на торце гайки.

Задание на лабораторную работу: 1. Определение коэффициента трения в резьбе f_p . 2. Построение графика зависимости f_p от среднего давления на витках резьбы P_p . 3. Определение коэффициента трения на торце гайки f_t . 4. Построение графика зависимости f_t от удельного давления на торце гайки P_t . 5. Установление зависимости $F_{зам} = f(T_{зав})$

Контрольные вопросы:

1. Какова зависимость между осевой силой на болте и моментом закручивания?
2. Почему для крепежных деталей применяются резьбы с треугольным профилем?
3. Как смазка влияет на коэффициент трения в резьбе и на торце гайки?
4. Каково среднее значение коэффициента трения в резьбе?
5. Каково среднее значение коэффициента трения на торце гайки?

Лабораторная работа № 3

Упругое скольжение во фрикционной передаче

Цель: получение практических умений и навыков построения графика зависимости $e = f(T_2)$.

Задание на лабораторную работу: исследование кинематики лобовой фрикционной передачи. Построение графика зависимости $e = f(T_2)$.

Контрольные вопросы:

1. Чем вызывается упругое скольжение во фрикционной передаче? В чем его отличие от геометрического скольжения?
2. Каковы отрицательные последствия упругого скольжения?
3. Каковы способы понижения упругого скольжения?

Лабораторная работа № 4

Изучение работы ременной передачи

Цель: получение практических умений и навыков в области работы ременной передачи.

Задание на лабораторную работу: построение графика зависимости $e = f(T_2)$. Определение КПД передачи и построение графика зависимости $n = f(T_2)$.

Контрольные вопросы:

1. Область применения, преимущества и недостатки ременных передач.
2. Геометрия и кинематика ременных передач.
3. Способы натяжения ремней.
4. Силы, действующие на валы от ременной передачи.

Лабораторная работа № 5

Определение параметров цилиндрического зубчатого редуктора

Цель: получение практических умений и навыков определения параметров цилиндрического зубчатого редуктора.

Задание на лабораторную работу: изучение конструкции редуктора и ознакомление с основными требованиями, предъявляемыми к его сборке. Определение основных параметров редуктора. Определение размеров зубчатых колес и передач

Контрольные вопросы:

1. Назначение, устройство и классификация редукторов.
2. Конструкции уплотнительных устройств.
3. Способы смазывания передач и подшипников редуктора.
4. С какой целью ширина венца шестерни принимается на 3–5 мм больше ширины венца колеса?

Лабораторная работа № 6

Определение параметров червячного редуктора

Цель: получение практических умений и навыков определения параметров червячного редуктора.

Задание на лабораторную работу: изучение конструкции редуктора. Определение основных параметров червячного зацепления, червяка и червячного колеса. Ознакомление с методикой регулировки осевого положения червячного колеса.

Контрольные вопросы:

1. Почему уровень масла при нижнем расположении червяка должен ограничиться центром тел качения подшипников?

2. Почему с понижением жесткости подшипников в опорах и при наличии зазора в подшипниках повышаются динамические нагрузки в передаче?
3. Чем обусловлено различное расположение червяка относительно червячного колеса? Начертите схемы расположения и объясните их особенности.
4. Почему венцы червячных колес изготавливаются из бронз?

Лабораторная работа № 7 **Определение КПД многоступенчатого редуктора**

Цель: получение практических умений и навыков определения КПД многоступенчатого редуктора.

Задание на лабораторную работу: определение геометрических параметров зубчатых колес и передач и вычисление передаточных чисел. Изображение кинематической схемы редуктора. Построение графиков зависимости $n = f(T_2)$ при $n = const$ и $n / f(n)$ при $T_2 = const$.

Контрольные вопросы:

1. Какие потери имеются в зубчатой передаче и каковы наиболее эффективные меры по понижению потерь в передаче?
2. Сущность относительных, постоянных и нагрузочных потерь.
3. Как изменяется КПД передачи в зависимости от передаваемой мощности?
4. Почему КПД с возрастанием степени точности зубчатых колес и передач повышается?

Лабораторная работа № 8 **Определение КПД червячного редуктора**

Цель: получение практических умений и навыков определения КПД многоступенчатого редуктора.

Задание на лабораторную работу: определение геометрических параметров червяка и червячного колеса. Изображение кинематической схемы редуктора. Построение графиков зависимости $n = f(T_2)$ при $n = const$ и $n = f(n)$ при $T_2 = const$.

Контрольные вопросы:

1. Почему червячную передачу не рекомендуется применять при больших мощностях?
2. Какое влияние оказывает число витков червяка z_1 на величину КПД передачи?
3. Каковы наиболее эффективные способы повышения КПД червячных редукторов?
4. Каковы преимущества и недостатки червячной передачи по сравнению с зубчатой и когда она применяется?

Лабораторная работа № 9

Определение момента трения в подшипниках качения

Цель: получение практических умений и навыков определения момента трения в подшипниках качения.

Задание на лабораторную работу: определение момента трения в подшипниках качения. Определение приведенного коэффициента трения в подшипниках качения.

Контрольные вопросы:

1. От чего зависит сопротивление вращению подшипника?
2. Как изменится момент трения в подшипнике с изменением нагрузки?
3. Как изменяется приведенный коэффициент трения в подшипнике с изменением нагрузки?
4. Как изменяются моменты трения и приведенный коэффициент трения от уровня заполнения подшипниковой камеры маслом?
5. Выполнить эскизы основных типов подшипников и дать им краткую характеристику (шариковый радиальный однорядный, шариковый радиальный сферический двухрядный, роликовый радиальный с короткими цилиндрическими роликами, роликовый сферический двухрядный, роликовый радиальный игольчатый, шариковый радиально-упорный однорядный, шариковый упорный однорядный, роликовый конический однорядный).

Лабораторная работа № 10

Кинематическое исследование и определение КПД планетарного редуктора

Цель: получение практических умений и навыков кинематического исследования и определение КПД планетарного редуктора.

Задание на лабораторную работу: кинематическое исследование редуктора и изображение его схемы. Построение графиков зависимости $n = f(T_2)$ при $n = const$ и $f(n)$ при $T_2 = const$.

Контрольные вопросы:

1. Что такое планетарная передача?
2. Какие достоинства и недостатки имеют планетарные передачи по сравнению с зубчатыми передачами с неподвижными осями?
3. Какие потери имеются в планетарных передачах?
4. Каковы наиболее эффективные меры по снижению потерь в передачах?
5. Для чего необходимо знать КПД механизма, что он характеризует?
6. Как влияет увеличение степени точности зубчатых колес на КПД передачи?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Анурьев, В. И. Справочник конструктора машиностроителя: в 3 т. / В. И. Анурьев. – 9-е изд. – Москва: Машиностроение, 2006.
2. Иванов, М. Н. Детали машин / М. Н. Иванов, В. А. Финогенов. – Москва: Высшая школа, 2010.
3. Дунаев, П. Ф. Конструирование узлов и деталей машин / П. Ф. Дунаев, О. П. Леликов. – Москва: Академия, 2009.
4. Ковшов, А. В. Технология машиностроения: учеб. / А. Н. Ковшов. – 2-е изд., испр. – Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2008. – 319 с.
5. Куклин, Н. Г. Детали машин / Н. Г. Куклин, Г. С. Куклина, В. К. Житков. – Москва: Высшая школа, 2007.
6. Маталин, А. А. Технология машиностроения: учеб. / А. А. Маталин. – 3-е изд., стер. – Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2010. – 512 с.
7. Базров, Б. М. Основы технологии машиностроения: учеб. для студентов вузов / Б. М. Базров. – Москва: Машиностроение, 2005. – 736 с.
8. Суслов, А. Г. Технология машиностроения: учеб. / А. Г. Суслов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Машиностроение, 2007. – 430 с.
9. Технология машиностроения: учеб.: в 2 т. / В. М. Бурцев, А. С. Васильев, О. М. Деев и [др.]; под ред. Г. Н. Мельникова. – 2-е изд., стер. – Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – Т. 2: Производство машин. – 640 с.
10. Основы технологии машиностроения: учеб. / А. С. Ямников [и др.]. – Тула: ТулГУ, 2006. – 269 с.
11. Документы технологические учебные. Общие требования к содержанию и оформлению иллюстративных листов с операционными эскизами: метод. указ. по оформ. ил. листов с операц. эскизами при вып. курс. и вып. квалификац. раб. (проектов) студ., обуч. по напр. подгот. "Машиностроение" и "Технолог. машины и оборудование" / Ю. Ф. Правдин. – Калининград: ФГБОУ ВПО "КГТУ", 2014. – 31 с.

Локальный электронный методический материал

Владлен Григорьевич Мосур

РАСЧЕТ И КОНСТРУИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ И УЗЛОВ ИЗДЕЛИЙ
МАШИНОСТРОЕНИЯ

Редактор Е. Билко

Уч.-изд. л. 3,4. Печ. л. 2,9

Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Калининградский государственный технический университет»,
236022, Калининград, Советский проспект, 1