

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ПРОГРАММА (программа профессиональной переподготовки)

«Инженер-конструктор механических систем подвижного состава железных дорог и транспортных машин»

Рабочие программы дисциплин

Дисциплина 1. Основы конструирования механических устройств подвижного состава

Тема 1.1. Должностные обязанности инженер-конструктора согласно «Квалификационному справочнику»

Основные требования и обязанности специалиста согласно справочнику должностей руководителей, специалистов и других служащих, утвержденного Постановлением Минтруда России от 21.08.1998 №37 и списка изменяющих документов.

Обладание навыками конструирования механических узлов подвижного состава, которые обеспечивают соответствие разрабатываемых конструкций техническим заданиям, действующим стандартам, требованиям рациональной организации труда при проектировании, экономичной технологии производства, а также использования стандартизованных и унифицированных деталей и сборочных единиц.

Участие в разработке проектной и рабочей конструкторской документации, проведении патентных исследований и определении показателей технического уровня проектируемых объектов техники и технологии. Выполнение с внесением необходимых изменений чертежей общего вида конструкций, сборочных единиц и деталей, схем механизмов, габаритных и монтажных чертежей.

Выполнение текущих работ по конструированию изделий, чертежей деталей, сборочных чертежей по эскизным документам или с натуры, а также другой конструкторской документации. Выполнение детализации сборочных чертежей, технических расчетов по исходным данным в соответствии с разработанными программами и методиками или типовыми расчетами. Составление схем, спецификаций, различных ведомостей и таблиц. Внесение принятых в процессе разработки изменений в конструкторскую документацию. Оформление чертежей, внесение необходимых надписей и простановка условных обозначений.

Семинарское занятие (в количестве 2 академических часов). Нарботка практических навыков разработки эскизных, технических и рабочих проектов изделий средней степени сложности, используя средства автоматизации проектирования, обеспечивая соответствие разрабатываемых конструкций техническим заданиям, стандартам, нормам охраны труда, требованиям наиболее экономичной технологии производства, а также использование в них стандартизованных и унифицированных деталей и сборочных единиц.

Тема 1.2. Основные этапы процесса создания новой техники

Методология разработки, совместно с заказчиком, технического задания на создание нового изделия. Участие заказчика в оптимизации требований к изделию с исключе-

нием из списка требований, которые не могут быть реализованы в силу технологических, технических, социальных, экономических и других ограничений.

Алгоритм выполнения технического компоновочного проекта, который определяет основные части будущего изделия, таких как отсеки, узлы, отдельные агрегаты, например, редукторы или мультипликаторы различных типов.

Методика конструирования и расчета изделий на значительное количество эксплуатационных параметров, прямо или косвенно обозначенных в техническом задании, с учетом их взаимосвязанности в компоновочной схеме.

Выявление входных и выходных характеристик, которые, с одной стороны, позволяют вычлениить изделие из общей компоновочной схемы и конструировать, как независимую единицу производства, с другой - описать и задать набор исходных данных, необходимых для его конструирования.

Выполнение прочностных расчетов каждой детали с учетом требований надежности, долговечности, износостойкости и так далее, заложенных в техническом задании. Решение таких задач невозможно без глубоких знаний в области сопротивления материалов.

Семинарское занятие (в количестве 2 академических часов). Проектирование кинематической схемы механического устройства средней сложности на основе законов механики, теории механизмов и машин, в основе которых заложены аксиомы, теоремы и прочие базовые принципы теоретической механики. Предложить схему реализации кинематической схемы с помощью устройств и деталей, которые известны из курса «Детали машин и основы конструирования».

Тема 1.3. Общие правила и критерии конструирования

Умение создавать конструкцию изделия, максимально удовлетворяющую потребностям заказчика, при низкой цене и высоком качестве.

Соблюдать при конструировании механизмов узлов и деталей выполнение основных этап разработки: выбора рациональной схемы конструкции и ее элементов; обеспечения показателей, записанных в техническом задании (ТЗ), определяющих назначение, технические и экономические характеристики объекта; повышения надежности и ресурса и уменьшения материалоемкости;

Предусматривать малое энергопотребление и высокую износостойкость при эксплуатации; обоснованное назначение точности и шероховатости деталей и обеспечение их взаимозаменяемости, использование стандартизации и унификации деталей и их элементов;

Предусматривать условия работы конструкции, которая должна исключать попадание грязи, пыли и влаги на подвижные детали изделий; включать элементы (лючки, регулировочные устройства) для обеспечения технического обслуживания, ремонта и контроля.

Предусматривать создание безопасности и комфорта оператора или исключение его присутствия (автоматизация процесса), устранение вредного воздействия на человека и окружающую среду; учитывать производственно-технологические требования.

Семинарское занятие (в количестве 3 академических часов). Предлагается разработать структурную схему (схему деления) двухступенчатого редуктора с электроприводом на гибкой связи на основе рациональной схемы конструкции, с учетом эффективного энергопотребления и высокой износостойкости поверхностей контактирующих деталей. Необходимо предусмотреть тяжелые условия работы с возможным воздействием внешних факторов загрязнения.

Тема 1.4. Общие требования к конструкциям механических узлов

Требование применения в машине стандартных деталей и узлов уменьшение количества типоразмеров, обеспечение взаимозаменяемости, что позволяет быстро и дешево изготавливать новые машины, а в период эксплуатации облегчает их ремонт.

Обеспечение требований прочности, как важнейшего критерия работоспособности всех деталей, то есть способности сопротивляться разрушению или возникновению пластических деформаций под действием приложенных нагрузок.

Обеспечение жесткости как способности детали сопротивляться изменению формы и размеров под действием нагрузки. Для некоторых деталей жесткость является основным критерием при определении их размеров.

Обеспечение износостойкости как свойства материала оказывать сопротивление изнашиванию, процессу разрушения и отделения материала с поверхности твердого тела при трении.

Обеспечение теплостойкости как способности конструкции работать в пределах заданных температур в течение всего срока службы.

Семинарское занятие (в количестве 2 часов). Необходимо сформулировать свои предложения по конструкции заданного механического устройства, которые обеспечат высокую производительность, экономичность, надежность и долговечность, а также удобство и безопасность обслуживания, ремонта и транспортабельности.

Дисциплина 2. Механика. Теоретическая механика.

Тема 2.1. Общие законы движения и равновесия материальных тел. Сила как мера механического взаимодействия тел

Движение как явление, охватывающее собой все происходящие в мире перемещения тел в пространстве. Теоретическая механика изучает простейшие формы движения – механическое движения, в том числе состояния равновесия, как частного случая механического движения. Понимание основной цели механики как открытия, изучения и практического применения общих законов движения и равновесия материальных тел.

Введение в статику. Основные понятия и определения. Рабочие инструменты механики - различные математические методы. Теоретическая механика как основа целого ряда инженерных дисциплин: сопротивления материалов, теории механизмов и машин, статики и динамики конструкций, строительной механики, деталей машин и других.

Теоретическая механика как научная база целого ряда важнейших направлений современной техники, включая железнодорожный транспорт. На законах механики основаны расчеты самых разнообразных сооружений и машин (локомотивов, железнодорожных вагонов, железнодорожных кранов и т.д.). Знание теоретической механики как научной базы современной техники совершенно необходимо каждому инженеру, в том числе инженеру железнодорожного транспорта. Теоретическая механика направляет творческую энергию ученых и инженеров, давая им в краткой и ясной форме итог колоссального опыта человечества.

Сила как векторная величина, которая характеризуется точкой приложения, линией действия, направлением вдоль линии действия и своей величиной или численным значением (модулем). Совокупность сил, приложенных к телу, называется системой сил.

Эквивалентные системы сил, оказывающие на все точки тела одно и то же действие. Под действием таких систем сил твердое тело остается в покое или совершает инерциаль-

ное движение (все точки тела движутся прямолинейно с постоянной и одинаковой для всех точек скоростью), то есть находится в состоянии равновесия, а приложенная система сил называется уравновешенной.

Практическое занятие (в количестве 1 академического часа). Определить точки приложения уравновешенной системы сил, обеспечивающей равновесие механической системы. Показать, что уравновешенная система сил статически эквивалентна нулю. Выявить внешние силы, действующие на тело со стороны других тел, а также силы взаимодействия между частицами - внутренние силы. Определить силу, приложенную к телу в какой-нибудь одной точке - сосредоточенную силу. Показать силы, действующие на все точки данного объема, поверхности или линии - распределенные силы. Выполнить схематический чертеж названных сил.

Тема 2.2. Связи и реакции связей. Пространственная система сил. Центр тяжести твердого тела

Связи, как твердые или гибкие тела, которые препятствуют свободному перемещению данного тела в пространстве. Действие связей на тело эквивалентно действию силы на тело. Реакция связи - сила, с которой связь действует на тело. В статике рассматривают условия равновесия свободных тел. Всякое несвободное тело можно рассматривать как свободное, если освободить его от связей и приложить к нему реакции связей.

Уравнения равновесия различных систем сил. Главный вектор системы сил. Главный момент плоской системы сил относительно точки. Уравнения равновесия плоской системы сходящихся сил. Две математические модели силы – в виде скользящего и в виде связанного вектора.

Цель применения математической модели силы в виде скользящего вектора состоит в упрощении операций с силами при преобразовании систем сил в тех задачах, где перенос сил по линиям их действия не влияет на их решение. К таким задачам, прежде всего, относится задача об определении условий равновесия свободного твердого тела. В случае переноса сил по линиям действия равновесие тела не нарушится, так как главный вектор и главный момент системы сил относительно произвольной точки не изменяются и остаются равными нулю.

Задача об определении положения центра тяжести твердого тела. При определении центра тяжести тела следует учитывать не только величину и направление сил тяжести его частиц, но и положение самих частиц, то есть точек приложения этих сил.

В механике деформируемого тела силу относят к категории связанных векторов. На любую частицу твердого тела, находящегося вблизи поверхности Земли, действует направленная по вертикали вниз сила, называемая силой тяжести. Для тел, размеры которого малы по сравнению с земным радиусом, силы тяжести его частиц можно считать параллельными друг другу и сохраняющими постоянную величину при любых поворотах тела. Сила тяжести тела есть равнодействующая сил тяжести отдельных частиц тела. Если тело однородное, то положение центра тяжести твердого тела не зависит от вещества тела, а зависит лишь от его геометрической формы.

Семинарское занятие (в количестве 1 академического часа). Уравнения равновесия произвольной пространственной системы сил. Уравнения равновесия частных систем сил. Пространственная система параллельных сил. Пространственная система сходящихся сил. У сходящейся системы сил линии действия всех сил пересекаются в одной точке схода.

Тема 2.3. Трение скольжения и трение качения

Трение как сопротивление возможному или действительному перемещению соприкасающихся тел. Трение возникает в месте соприкосновения тел.

По кинематическим признакам различают трение скольжения и трение качения (трение 1-го и 2-го рода). Примеры различных видов трения: скольжения по поверхности, качения колес вагона, локомотива по рельсам.

Трение – следствие многих причин, но основными из них являются две. Во-первых, поверхности тел всегда неровны, и зубрины одной поверхности цепляются за шероховатости другой. Это так называемое геометрическое трение. Во-вторых, трущиеся тела близко соприкасаются друг с другом, и на их движение оказывает влияние взаимодействие молекул (молекулярное трение).

Шарль Кулон установил основные приближенные законы для сухого трения скольжения. Эти законы справедливы, когда поверхности тел не вдавливаются друг в друга, а их шероховатость не слишком велика.

Первый закон Кулона (сила трения скольжения равна сдвигающей силе и заключена между нулем и максимальным значением, которое достигается в момент выхода тела из положения равновесия).

Второй закон Кулона (максимальная сила трения скольжения при прочих условиях не зависит от площади соприкосновения трущихся поверхностей).

Третий закон Кулона (максимальная сила трения скольжения пропорциональна силе нормального давления тела на опорную поверхность).

Четвертый закон Кулона (коэффициент трения скольжения зависит от материала и физического состояния трущихся поверхностей, степени шероховатости, влажности, температуры и других условий).

Тангенс угла трения равен коэффициенту трения, $tg\varphi_{тр} = f$. Конус с вершиной в точке приложения нормальной реакции шероховатой поверхности, образующая которого составляет угол трения с этой нормальной реакцией, называется *конусом трения*. Если коэффициент трения во всех направлениях одинаков, то конус трения круговой.

Момент пары сил (\bar{N}, \bar{P}) как момент сопротивления качению.

Установлены приближенные законы трения качения.

Коэффициент трения качения устанавливается экспериментально.

Семинарское занятие (в количестве 2 академических часов). Первый закон трения качения. Максимальный момент пары сил, препятствующий качению, в широких пределах не зависит от радиуса катка.

Второй закон. Максимальный момент сопротивления качению пропорционален силе нормального давления катка на опорную плоскость и достигается в момент выхода катка из положения равновесия

Третий закон. Коэффициент трения качения зависит от материала катка, опорной плоскости, а также от физического состояния их поверхностей.

Тема 2.4. Кинематика точки

Движением как изменение с течением времени положения данного тела в пространстве по отношению к другим телам.

Жестко связанная с телом система координат, по отношению к которой изучается движение данного тела или точки, как *системой отсчета*.

Движение тел совершается в пространстве с течением времени. Время принято считать одинаковым во всех системах отсчета и отображать скалярной, непрерывно изменяющейся величиной.

Задать движение или закон движения тела – значит задать положение данного тела или точки относительно некоторой системы отсчета в любой момент времени.

Кинематика строится на законах геометрии. Никаких других дополнительных законов или аксиом для кинематического изучения движения не требуется.

Основная задача кинематики состоит в том, чтобы на основании известного закона движения данного тела (или точки) определить все кинематические величины, характеризующие как движение тела в целом, так и движение каждой из его точек в отдельности (траектории, скорости, ускорения и т.д.).

Кинематика представляет собой, с одной стороны, введение в динамику, так как определение основных кинематических зависимостей необходимо для изучения движения тел под действием приложенных сил. С другой стороны, методы кинематики имеют и самостоятельное решение, например, при передаче движения в механизмах. Термин "кинематика" предложен французским ученым и философом Андре-Мари Ампером.

Тема 2.5. Поступательное и вращательное движение твердого тела. Угловая скорость, угловое ускорение твердого тела

В кинематике, как и в статике, все тела рассматриваются как абсолютно твердые. Это означает, что расстояние между двумя точками остается постоянным во все время движения.

Поступательное движение, при котором отрезок прямой, соединяющей две любые точки тела, перемещается параллельно самому себе.

Теорема о траекториях, скоростях и ускорениях точек твердого тела при поступательном движении.

Поступательное движение тела вполне определяется движением какой-нибудь одной точки, поэтому изучение кинематики поступательного движения тела сводится к изучению кинематики точки.

Вращательным движением твердого тела называется такое его движение, при котором две точки, связанные с телом, остаются во все время движения неподвижными. Ось вращения - прямая, проходящая через неподвижные точки. Все точки тела, не принадлежащие оси вращения, описывают окружности, плоскости которых перпендикулярны к этой оси.

Положение тела в любой момент времени однозначно определяется взятым с соответствующим знаком углом φ между этими полуплоскостями.

Угол φ считается положительным, если он отложен от неподвижной полуплоскости в направлении против хода часовой стрелки. Измеряется угол φ всегда в радианах.

Основными кинематическими характеристиками вращательного движения тела являются его угловая скорость ω и угловое ускорение ε .

Угловая скорость тела равна производной по времени от угла поворота тела. Угловое ускорение тела равно производной по времени от угловой скорости тела

Вращательное движение тела равномерно, если угловая скорость тела является постоянной величиной ($\omega = \text{const}$).

Практическое занятие (в количестве 1 академического часа). Построить схему сил при равномерном вращательном движении, равнопеременном движении, если угловое ускорение тела является постоянной величиной ($\varepsilon = \text{const}$).

Показать ускорения точек вращающегося твердого тела пропорционально их расстояниям от оси вращения при одинаковых углах с радиусами описываемых ими окружностей.

Тема 2.6. Плоскопараллельное (плоское) движение твердого тела. Сложное движение точки

Плоскопараллельным или плоским движением твердого тела называется такое движение, при котором все его точки перемещаются в плоскостях, параллельных некоторой неподвижной плоскости.

Вращение тела вокруг неподвижной оси тоже представляет собой плоскопараллельное движение. При плоскопараллельном движении все точки тела, лежащие на прямой МК, движутся тождественно. Поэтому для изучения движения всего тела достаточно изучить движение сечения этого тела или плоской фигуры S в плоскости Π .

Любое плоскопараллельное движение тела из одного положения в другое можно представить состоящим из двух движений: предварительного поступательного и дополнительного вращательного вокруг некоторой произвольной точки, называемой полюсом. При этом дополнительное вращательное движение не зависит от выбора полюса.

Скорость точки тела при плоскопараллельном движении геометрически складывается из скорости какой-нибудь точки, принятой за полюс, и скорости данной точки во вращательном движении вместе с телом вокруг полюса

Мгновенный центр скоростей и общий случай определения его положения. Определение скоростей точек тела с помощью мгновенного центра скоростей. Ускорение любой точки тела при плоскопараллельном движении геометрически складывается из ускорений, которые она получает при поступательном и вращательном движениях этого тела.

В ряде случаев при решении задач механики оказывается целесообразным рассматривать движение точки по отношению к двум системам координат, одна из которых считается условно неподвижной, а другая определенным образом движется по отношению к первой.

Практическое занятие (в количестве 1 академического часа). Построить схему скоростей при сложном движении точки, когда ее абсолютная скорость равна геометрической сумме относительной и переносной скоростей. То же самое сделать при сложном движении точки, когда ее абсолютное ускорение равно геометрической сумме относительного ускорения, переносного ускорения и ускорения Кориолиса.

Тема 2.7. Динамика материальной точки

Динамикой считается раздел теоретической механики, в котором изучается движение материальных тел под действием приложенных сил.

Закономерности механического движения материальных тел изучаются при помощи формирования физических и общих понятий и при помощи построения физических и математических моделей.

Простейшей физической моделью материального тела является материальная точка, в которой из всех свойств тела учитывается только ее масса. Более сложные материальные объекты считают состоящими из материальных точек.

Ньютон в «Началах» изложил аксиомы динамики.

Аксиомы(законы) динамики. Инерциальная система отсчета.

Изучая движение, необходимо иметь в виду определенную систему отсчета, то есть систему координат, скрепленную с телом.

Сила, как мера механического воздействия материальных тел, не зависит от выбора системы отсчета. Ускорение зависит от выбора системы отсчета. Аксиомы динамики не могут быть справедливыми в любой системе.

Система отсчета называется инерциальной, если в ней справедливы аксиомы Ньютона. На практике с достаточной степенью точности считается инерциальной система отсчета, связанная с Землей.

Дифференциальные уравнения движения материальной точки в проекциях на оси в прямоугольной декартовой системы координат.

Основные задачи динамики материальной точки.

Теорема об изменении кинетической энергии системы.

Теорема об изменении количества движения системы, теорема о движении центра масс

Законы сохранения количества движения системы.

Законы сохранения кинетического момента.

Принцип Даламбера является одним из важнейших общих принципов динамики несвободных материальных систем, имеющих применение в практических вопросах. Принцип возможных перемещений.

Тема 2.8. Решение задач по кинематике и динамике

Задача определения угловой скорости колеса и скорости концов M_1, M_2, M_3, M_4 вертикального и горизонтального диаметров колеса.

Задача определения угловой скорости колеса и скорости точек А и В его вертикального диаметра.

Задача определения скорости точек А и В, а также угловых скоростей шатуна АВ и кривошипа ВС.

Задача определения абсолютной скорости и абсолютного ускорение ползуна при $t_1 = 4$ [с].

Задача определения начальной скорости колеса радиуса r , которое перемещается по наклонной плоскости параллельно линии наибольшего ската, когда оно, катясь без проскальзывания, поднялось на высоту h по наклонной плоскости, образующей угол α с горизонтом. Коэффициент трения качения равен δ . Колесо считать однородным диском. Определить также ускорение оси колеса.

Задача определения скорости точек А и В, а также угловые скорости шатуна АВ и кривошипа ВС.

Задача. По призме Е массой $m = 7$ кг могут двигаться тележки А и В массами $m_1 = 1$ кг и $m_2 = 2$ кг соответственно. Тележки связаны тросом. В начальный момент времени система находилась в состоянии покоя, а затем тележка А начинает двигаться относительно призмы вправо под действием внутренних сил. Пренебрегая потерями на трение, определить перемещение призмы Е для момента времени $t_1 = 0.5$ с, если закон относительного движения тележек $s = 2t^2$ м.

Задача. Однородный стержень АВ длиной l и массой m , закрепленный шарнирно на валу OO_1 , вращается вокруг оси Oy с постоянной угловой скоростью ω . Стержень удерживается под углом α к вертикали при помощи горизонтальной тяги ВД. Найти реакции шарниров А и В.

Задача. Для механизма, расположенного в горизонтальной плоскости, определить деформацию пружины в положении равновесия. Даны длина стержня $OA=l$, момент пары сил M , приложенной к стержню OA , коэффициент жесткости пружины c .

Практическое занятие (в количестве 2 академических часов)

1. Найти уравнение траектории точки и установить направление ее движения по траектории.

2. Найти уравнение траектории точки и для момента времени $t_1 = 1$ с найти положение точки на траектории, ее скорость, полное, касательное и нормальное ускорения, а также радиус кривизны траектории.

3. Найти полное ускорение точки M , а также угловую скорость и угловое ускорение маховика, если его радиус равен $0,5$ [м].

4. Найти угловую скорость колеса и скорости концов M_1, M_2, M_3, M_4 вертикального и горизонтального диаметров колеса.

Дисциплина 3. Методы исследования и алгоритмы расчета механизмов машин

Тема 3.1. Теоретические исследования механизмов и машин

Теория механизмов и машин – наука об общих методах исследования свойств механизмов и машин и проектирования их схем.

Машина как система, созданная трудом человека для изучения и использования законов природы с целью облегчения физического и умственного труда, увеличения его производительности и облегчения путем частичной или полной замены человека в его трудовых и физиологических функциях.

Механизм как система тел, предназначенная для преобразования движения одного или нескольких тел в требуемое движение других тел.

Теория механизмов и машин (ТММ) изучает строение, кинематику и динамику механизмов в связи с их синтезом.

Два основных направления ТММ: 1) исследование структурных, кинематических и динамических свойств механизмов, то есть анализ; 2) проектирование механизмов с определенными структурными, кинематическими и динамическими свойствами - задача синтеза механизмов.

Машина состоит из отдельных механизмов, а механизм состоит из отдельных деталей. Одни из них приняты за неподвижные, а другие движутся относительно них.

Механизм совокупность неподвижного и подвижных звеньев. Из подвижных звеньев в механизме необходимо выделить входные и выходные звенья.

Входным звеном (входом) называется звено, которому сообщается заданное движение, преобразуемое механизмом в требуемое движение других звеньев.

Выходным звеном (выходом) называется звено, совершающее движение, для выполнения которого предназначен механизм. Все остальные звенья называются соединительными или промежуточными.

Семинарское занятие (в количестве 1 академического часа). Изучить кинематические схемы механизмов (рычажные, кулачковые и зубчатые). На представленных схемах выделить входные и выходные звенья и рассмотреть процесс передачи механической энергии.

Тема 3.2. Кинематические пары и кинематические цепи

Соединение двух звеньев, допускающее их относительное движение, считается кинематической парой.

Поверхности, линии, точки по которым соприкасаются звенья, - элементы кинематической пары.

Связанная система звеньев, образующих кинематические пары, считается кинематической цепью. (Кинематическая цепь – механизм кривошипно-ползунный).

В основе всякого механизма лежит кинематическая цепь. Кинематическая цепь, обладающая определенным заданным движением, является механизмом.

Если тело (звено) соединить подвижно с другим телом (звеном), то на движение этих звеньев будут наложены ограничения, которые носят названия условий связи в кинематической паре.

Все кинематические пары делят на пять классов. Класс кинематической пары определяется числом условий связи, наложенных на относительное движение звеньев. Класс пары может быть определен и числом степеней свободы.

Кроме предложенной классификации кинематических пар, существует деление на высшие и низшие кинематические пары.

Высшей кинематической парой является пара, в которой элементами пары является линия или точка. В низшей кинематической паре элементами пары являются поверхности. Примерами высших пар являются колесо и рельс, зацепление зубчатых колес.

Практическое занятие (в количестве 2 академических часов). Привести классификацию кинематических пар по числу степеней свободы и по числу условий связи. Числом степеней свободы механической системы называется число независимых перемещений.

Показать шесть степеней свободы твердого тела в пространстве, как шесть независимых движений: три вращательных и три поступательных.

Тема 3.3. Кинематическое исследование плоских стержневых механизмов

Изучение движения звеньев механизма без учета сил, вызывающих движение. Определяющим фактором здесь является степень свободы механизма. Кинематический анализ состоит в определении движения звеньев механизма по заданному движению начальных (входных) звеньев.

Графический метод кинематического исследования механизмов. Для решения поставленной задачи должна быть задана кинематическая схема механизма (начального) звена.

Аналитический метод кинематического исследования механизмов. Определение скоростей и ускорений звеньев.

Методы силового исследования механизмов. Силовой анализ механизмов представляет собой решение первой задачи динамики системы: определение сил по заданному закону движения.

Определению подлежат реакции в кинематических парах механизма. Для решения этой задачи в ТММ применяется метод кинетостатики.

Метод кинетостатики - формальный прием, который позволяет записать уравнения движения в форме уравнений равновесия и решать задачу методами статики.

Принцип Даламбера утверждает: если систему, находящуюся в движении, в какой – либо момент времени мгновенно остановить и к каждой материальной точке этой системы приложить действовавшие на нее в момент остановки активные силы, реакции связей и силы инерции то система останется в равновесии.

При определении неизвестных реакций следует расчленять механизм, пользуясь принципом освобожденности от связей, т.е. выделять из механизма группы звеньев и отдельные звенья, рассматривать их равновесие. При этом действия отброшенных звеньев на рассматриваемые принято представлять реакциями, действующими на рассматриваемые звенья со стороны отброшенных в расчлененных кинематических парах.

Тема 3.4. Кинетическая энергия механизма

Совокупность машины-двигателя, служащая для преобразования энергии, передаточного механизма и рабочей машины, производящей работу, составляет машинный агрегат. Закон движения выходного звена определяется взаимодействием этих трех частей.

В первой из них создаются движущие силы, во второй происходит преобразование видов движения и в третьей – механическая энергия звеньев расходуется на выполнение полезной работы.

Силы сопротивления разделяются на силы полезных сопротивлений, связанных с выполнением той механической работы, для совершения которой построена машина, и силы вредных сопротивлений.

Кинетическая энергия звена механизма зависит от массы звена, распределения массы по объему звена, скорости центра масс и угловой скорости звена.

Решение задач динамики значительно упрощается, если действительные массы звеньев механизма с одной степенью подвижности заменить эквивалентной им одной приведенной массой, перенесенной условно на какое-либо звено, которое принято называть звеном приведения.

Приведенная масса должна иметь кинетическую энергию, равную кинетической энергии механизма. В качестве звена приведения чаще всего выбирают начальное звено.

Движущей силой считается сила, направление которой в точке ее приложения образует острый угол с направлением скорости этой точки, т.е. сила, совершающая положительную работу. Если же сила совершает отрицательную работу, то это сила сопротивления.

Практическое занятие (в количестве 2 академических часов). Определить режим установившегося движения, который характеризуется периодическим изменением скорости, ускорения, силы и других механических величин, зависящих от времени. Если эти величины изменяются не периодически, то режим работы машин называется неустановившимся.

Тема 3.5. Колебания механических систем

Колебания механических систем обычно являются вибрацией. В общем случае колебательное движение твердого тела может быть описано в виде комбинации шести простейших движений: трех поступательных и трех вращательных.

Простейшими являются системы с одной степенью свободы, например, маятник настенных часов. К наиболее простым колебательным движениям можно отнести также упругие прямолинейные колебания груза массой m на пружине жесткостью k .

Такая механическая система обладает одной степенью свободы. При отклонении груза на некоторое расстояние от положения равновесия и его дальнейшем освобождении пружина начнет разгонять груз, который приобретет при этом кинетическую энергию. Запасенная энергия позволяет пройти точку равновесия и далее груз начнет деформировать пружину в противоположном направлении и тормозиться.

При торможении будет происходить процесс перехода кинетической энергии груза в потенциальную энергию деформации пружины, который закончится при остановке груза. Далее пружина начнет очередной разгон груза и процесс повторится.

Основными параметрами колебательного процесса являются период и частота колебаний. Период – интервал времени, за который завершается один цикл колебания, измеряется в секундах, обозначается буквой T .

Частота колебаний – величина обратная периоду, определяет количество циклов колебаний за период, измеряется герцах.

Вибрация тела всегда вызывается какими-то силами возбуждения. Эти силы могут быть приложены к объекту извне или возникнуть внутри него самого, а их направление и частота определяют вибрацию объекта.

Вибрационный анализ позволяет выявить силы возбуждения при работе машины. Эти силы зависят от состояния машины или механизма, знание их характеристик и законов взаимодействия позволяет диагностировать дефекты конструкций.

Снижение уровня колебаний реализуют за счет изменения конструкции или путем присоединения к устройствам специальных устройств, из которых наиболее распространенными являются: динамические гасители, демпферы колебаний, амортизаторы.

Семинарское занятие (в количестве 2 академических часов). В соответствии с полученными данными реального и необходимого для обеспечения заданной неравномерности вращения входного звена приведенного момента инерции первой группы звеньев произвести расчет маховика.

Дисциплина 4. Механические передачи

Тема 4.1. Ременные передачи с гибкими связями

Ременной передача - кинематический механизм, передающий энергию с помощью гибкой связи, использующей трение между ремнем и шкивом.

Ременные передачи бывают различных типов и классифицируются в зависимости от того, какую форму имеет поперечное сечение ремня. По этому критерию специалисты различают передачи круглоремные, клиноремные и плоскоремные. При этом в технике наиболее распространены клиновидные и плоские ремни.

Составными частями ременной передачи являются расположенные на некотором расстоянии друг от друга ведущий и ведомый шкивы, которые огибаются специальным приводным ремнем.

Уровень передаваемой нагрузки при ременной передаче зависит от таких факторов, как напряжение натяжения ремня, коэффициент трения и угол обхвата шкива.

Основными плюсами, которые имеют ременные передачи, являются следующие: несложная конструкция и невысокая стоимость; возможность обеспечения трансляции вращательного момента на большие расстояния; простота в эксплуатации и обслуживании; безударность работы и плавность хода.

В то же самое время ременные передачи имеют и целый ряд недостатков, к которым следует отнести: относительно, большие размеры, не позволяющие использовать их в ряде случаев; недолговечность при использовании на быстроходных механизмах; невозможность обеспечения постоянного передаточного отношения ввиду проскальзывания ремня; большие нагрузки на опоры и валы.

Передачи со ступенчатыми шкивами обеспечивают возможность изменения угловой скорости вращения ведомого вала при постоянной скорости ведущего вала. Передачи

с натяжным роликом обеспечивают натяжение ремня в автоматическом режиме и увеличение угла обхвата шкива с небольшим диаметром.

Работоспособность ременной передачи характеризуют кривыми скольжения. Изменение величины напряжения вызывает изменение деформации ремня на этих участках. Происходит так называемое упругое скольжение. При увеличении передаваемого окружного усилия растет относительное скольжение. Правильно рассчитанный ремень должен работать в зоне упругого скольжения, то есть при значениях коэффициента тяги $\varphi < \varphi_0$.

При проектировании гибкого привода приходится сталкиваться с условиями, отличными от экспериментальных. Поэтому расчет передачи следует вести не по приведенному полезному напряжению K_0 , а по напряжению K , которое будет отличаться от K_0 вследствие введения ряда необходимых поправок.

Семинарское занятие (в количестве 2 академических часов). Проектирование гибкого привода ступенчатого редуктора прямозубого зацепления на основе клиновидного типа ремня с заданным натяжением, коэффициентом трения и коэффициентом полезного действия без учета относительного скольжения относительно ведущего шкива.

Тема 4.2. Цепные передачи с гибкими связями

При сравнительно большом расстоянии между валами в машинных агрегатах применяются зубчатые приводы с гибкой связью в виде цепи. Цепные механизмы могут быть редукторами и мультипликаторами (передача вращения от педалей к заднему колесу велосипеда). По сравнению с ременными механизмами цепные имеют меньшие габариты, потери на трение и эксплуатационные расходы.

Классификация зубчатых передач:

Грузовые. Служат для подъема грузов при скорости не свыше 0,5 м/с.

Тяговые. Так называемые «транспортеры» применяются для перемещения грузов при скорости не свыше 4 м/с. По сравнению с грузовым типом имеют больший шаг цепи.

Приводные. Долговечный тип цепи с износоустойчивыми шарнирами используется при передаче энергии при различных скоростях.

Метод регулировки цепи. Применяют натяжное устройство или специальные звездочки.

По используемой конструкции представленные цепные передачи могут быть двух видов: закрытыми и открытыми.

Цепные механизмы применяют:

На средних расстояниях между осями с применением паразитных шестерней (а также промежуточных ступеней), если они не направлены на получение необходимого показателя отношения между крутящими моментами валов.

При трудновыполнимых требованиях к размерам.

Если при работе не должно быть проскальзывания, которое препятствует использованию открытой передачи с одним или несколькими ремнями (клиноременной).

Достоинства цепной передачи: возможность передачи повышенных нагрузок с постоянным передаточным числом; относительная компактность из-за меньшего расстояния между осями; одна цепь способна передавать момент нескольким звездам; передача движения на расстояние до 8 м, чего не может достичь, например, зубчатый механизм; конструкция привода обеспечивает относительно низкую радиальную нагрузку на вал.

Также цепной привод обеспечивает: передачу высокой мощности до 5 тыс. кВт; полное отсутствие проскальзывания; высокий коэффициент полезного действия (КПД) - $\eta_{\max} \gg 0,9 \div 0,98$; простую замену деталей.

Недостатки: относительно высокая стоимость цепей в передаче; необходимость монтажа на картерах; колеблющийся показатель передаточного отношения; повышенный износ из-за отсутствия жидкостного трения в шарнирах; требовательность к точности установки крутящих валов.

Семинарское занятие (в количестве 2 академических часов). Алгоритм проектирования тягового цепного механизма с применением однорядной роликовой цепи с заданным расстоянием между осями механизма, скоростью вращения ведущей звездочки и допустимого вращающего момента на ведущем вале устройства.

Тема 4.3. Зубчатые механические передачи

Зубчатая передача – механизм, который с помощью зубчатого зацепления передает или преобразует движение с изменением угловых скоростей и моментов. Зубчатая передача состоит из колес с зубьями, которые сцепляются между собой, образуя ряд последовательно работающих кулачковых механизмов.

Зубчатые передачи применяют для преобразования и передачи вращательного движения между валами с параллельными, пересекающимися или перекрещивающимися осями, а также для преобразования вращательного движения в поступательное и наоборот.

Привод – система взаимосвязанных устройств, предназначенная для приведения в движение одной или нескольких частей машины.

Для изменения скорости и направления движения устанавливают между двигателем и рабочим органом механические передачи - закрытые и открытые редукторы. Это могут быть зубчатые цилиндрические и конические, червячные, ременные, цепные и т. д. передачи.

Классификация конструкций зубчатых преобразователей группирует передачи по признакам: по виду зацепления зубьев. В технических устройствах применяются передачи с внешним с внутренним и с реечным зацеплением.

По взаимному расположению осей валов различают передачи с: цилиндрическими колесами с параллельными осями валов; коническими колесами с пересекающимися осями, колесами со скрещивающимися осями (винтовыми, гипоидными, червячными).

По расположению зубьев относительно образующей обода колеса различают передачи прямозубые, косозубые, шевронные и с круговыми зубьями.

Зубчатые колеса изготавливаются из конструкционных сталей марок 35, 40, 45, 50, легированных сталей 20Х, 50Г, 40Х, 45ХН. Применение таких сталей после соответствующей термообработки позволяет получать высокую твердость поверхностей зубьев при большой прочности и вязкости сердцевины. Кроме сталей для изготовления колес применяют чугуны, бронзы, латуни, сплавы алюминия, пластмассы. Бронзовые и пластмассовые колеса обычно работают в паре со стальными.

Практическое занятие (в количестве 1 академического часа). Методом эскизирования показать на формате зубчатую пару, как звено редуктора, с любым стандартным модулем зацепления и межцентровым расстоянием, рассчитать и показать на чертеже основные геометрические параметры звена.

Тема 4.4. Валы. Муфты. Оси

Валы предназначены для поддержания вращающихся частей машины и для передачи вращающего момента от одной вращающейся детали машины к другой. Валы несут на себе детали механизма и поэтому, в зависимости от конструкции, работают или при совместном действии изгиба и кручения, или только при кручении.

Оси - детали, предназначенные только для поддержания вращающихся частей, и в передаче энергии непосредственно не участвуют. Оси работают только на изгиб, так как не передают вращающего момента.

Прямые валы и оси в большинстве случаев имеют круглое сплошное сечение. Полые валы и оси применяют для облегчения конструкции, в тех случаях, когда через них проходят вдоль оси другие детали, для подачи масла, для расположения в полости вала деталей управления.

По условиям сборки на одном валу деталей с различными посадками типами соединений, а также по требованиям к осевой фиксации деталей в большинстве случаев принимают ступенчатую конструкцию вала. Такая форма вала удобна для монтажа на него вращающихся деталей, каждая из которых должна свободно проходить по валу до места своей посадки. Диаметры посадочных участков выбирают на основании расчета на прочность и стандарта на предпочтительные размеры, а их длины определяют по размерам сопрягаемых деталей.

Для уменьшения концентрации напряжений в местах перехода от одного участка вала или оси к другому разность между диаметрами ступеней должна быть минимальной.

Валы вращаются в *опорах*, в качестве которых служат *подшипники качения* или скольжения.

Концевые опорные поверхности валов, предназначенные для восприятия *осевых* нагрузок, называют *пятнами*, а подшипники скольжения, в которых они размещаются, – *подпятниками*.

Неподвижные оси при постоянных нагрузках и тихоходные валы, работающие в условиях больших перегрузок, рассчитывают на статическую прочность.

Валы быстроходных машин часто подвергаются усталостному разрушению и их необходимо рассчитывать на усталостную прочность. Характеристикой усталостной прочности является коэффициент безопасности.

Под действием приложенных сил у валов появляются деформации изгиба и кручения. Чрезмерный изгиб валов нарушает нормальную работу подшипниковых узлов, зубчатых зацеплений, фрикционных механизмов. Поэтому величина деформаций валов и осей ограничивается

Семинарское занятие (в количестве 1 академического часа). Расчет на прочность и конструирование вала одной ступени редуктора. Целью расчета на *прочность* является определение основных размеров осей и валов, при которых обеспечивается их *статическая прочность и выносливость (усталостная прочность)*. Сложившаяся практика расчета и конструирования валов подразделяет эту процедуру на *три* этапа: ориентировочный расчет; конструирование вала; уточненный (поверочный) расчет.

Тема 4.5. Опоры валов и осей

Опорой называют часть механизма, обеспечивающую вращательное движение подвижных частей механизма.

Основной частью опоры является подшипник, являющийся промежуточным элементом между неподвижной частью механизма и вращающимся валом. В зависимости от вида трения подшипники подразделяют на два основных вида: подшипники качения и подшипники скольжения.

Подшипники качения, наиболее распространенные в общем машиностроении. В зависимости от способности восприятия нагрузки подшипники качения подразделяют на: радиальные (воспринимают радиальные реакции), упорные (подпятники) (воспринимают осевые реакции), радиально-упорные (воспринимают комбинированные реакции).

Работоспособность подшипников качения ограничивается: усталостным выкрашиванием рабочих поверхностей дорожек и тел качения (этот вид разрушения является основным критерием работоспособности); пластическими деформациями (в результате которых при малом числе оборотов и больших нагрузках на дорожках качения могут появляться вмятины-лунки); раскалыванием колец и тел качения (раскалывание может быть вызвано неправильным монтажом подшипников, погрешностями формы и размеров посадочных поверхностей валов и корпусов, ударными и вибрационными нагрузками); разрушением сепараторов (характерно для подшипников, работающих при высоких угловых скоростях); абразивным износом рабочих поверхностей (наблюдается у подшипников, работающих в загрязненной среде и при недостаточной защите от загрязнения).

Основной критерий работоспособности и порядок подбора подшипников зависит от значения частоты вращения кольца.

Подбор подшипников выполняют для обеих опор вала.

В некоторых изделиях, например, в редукторах, для обеих опор рекомендуется применять подшипники одного типа и одного размера. В этом случае подбор выполняют по наиболее нагруженной опоре. Расчетным показателем долговечности подшипника служит базовый ресурс, соответствующий 90%-й надежности.

При предварительной компоновке редуктора намечаются типы подшипников и схемы их установки. После определения опорных реакций можно определить типоразмер подшипника, удовлетворяющий величине и направлению действующих нагрузок, а также частоте вращения и требуемому сроку службы. Назначается также класс точности подшипника. При отсутствии особых требований к точности вращения узла принимается нормальный класс точности О по ГОСТ 520-71.

Практическое занятие (в количестве 2 академических часов). На простейшей схеме двухступенчатого редуктора с прямозубым зацеплением построить схему опор (подшипников качения). Обосновать маркировку выбранных подшипников, их тип и количество.

Дисциплина 5. Теория прочностного расчета

5.1. Сопротивление материалов

Сопротивление материалов - наука, занимающаяся разработкой методов статических и динамических расчетов отдельных деталей сооружений на прочность, жесткость и устойчивость.

Прочность - способность конструкции, а также ее частей и деталей, выдерживать, не разрушаясь, действие внешней нагрузки.

Жесткость - способность конструкции и ее элементов сопротивляться изменению своих первоначальных размеров и формы.

Устойчивость - способность конструкции и ее элементов сохранять определенную начальную форму равновесия.

Основной задачей науки о сопротивлении материалов является разработка надежных и наиболее экономичных, в отношении массы и размеров, практических методов расчета различных элементов сооружений и машин.

Необходимость довести решение каждой практической задачи до некоторого числового результата заставляет (предполагает) прибегать к упрощающим гипотезам, то есть предположениям, которые оправдываются в дальнейшем путем сопоставления расчетных данных с экспериментом.

Необходимо производить схематизацию объекта конструкции: отбросить все те факторы, которые не могут сколько-нибудь заметным образом повлиять на работу системы в целом.

Реальный объект, освобожденный от несущественных признаков, носит название расчетной схемы.

Массивное тело -элемент конструкции, размеры которого во всех направлениях мало отличаются друг от друга. Все три габаритных размера – величины одного порядка. Решением таких задач занимается более общая наука –теория упругости. В классическом курсе «Сопротивление материалов» рассматриваются расчеты стержней.

Для прикрепления сооружения к основанию служат опоры, обеспечивающие неподвижность опорных точек конструкции. В сопротивлении материалов рассматривают три основных типа опор: шарнирно подвижные опоры, шарнирно неподвижные и жесткое защемление.

Внешние и внутренние силы. В сопротивлении материалов активные внешние силы, действующие на рассматриваемое тело (элемент конструкции), часто называют нагрузками.

По способу приложения нагрузки подразделяют на сосредоточенные и распределенные.

Распределенные нагрузки могут быть поверхностными (давление ветра, воды на стенку) или объемными (сила тяжести, силы инерции).

Если давление передается на элемент конструкции через площадку, размеры которой очень малы по сравнению с размерами всего элемента, то его можно привести к сосредоточенной силе. При расчетах сосредоточенную силу считают приложенной в точке. Сосредоточенная сила измеряется в ньютонах.

Если давление передается на элемент конструкции через площадку, размеры которой сравнимы с размерами всего элемента, то его представляют в виде распределенной или погонной нагрузки с размерностью Нм. На схемах такие нагрузки изображают в виде графиков, показывающих изменение нагрузки по длине или поверхности тела.

По характеру воздействия на элементы конструкции нагрузки подразделяют на статические и динамические.

Статические нагрузки прикладываются к телу, постепенно возрастая от нуля до своей конечной величины и оставаясь в дальнейшем практически постоянными. При действии таких нагрузок колебания конструкции, и ее частей, незначительны.

Динамические нагрузки сопровождаются значительными ускорениями как деформированного тела (или его частей), так и взаимодействующих с ним тел. Возникающими при этом силами инерции пренебречь нельзя. Динамические нагрузки делятся на мгновенно приложенные, ударные и повторно-переменные.

5.2. Понятие о напряжениях. Напряженное состояние в точке

Нормальные и касательные напряжения представляют собой интенсивность распределения соответственно нормальных и поперечных сил, действующих по элементарной площадке в рассматриваемой точке.

Через любую точку упругого тела, подверженного действию внешней нагрузки, можно провести бесчисленное множество сечений (площадок), по которым в общем случае будут действовать как нормальные, так и касательные напряжения. При этом величина и направление указанных напряжений в каждом конкретном случае будут зависеть от ориентации площадки.

Деформация нагруженного тела сопровождается изменением расстояний между его частицами. Внутренние силы, возникающие между частицами, изменяются под действием внешней нагрузки до тех пор, пока не установится равновесие между внешней нагрузкой и внутренними силами сопротивления. Полученное состояние тела называют напряженным состоянием. Оно характеризуется совокупностью нормальных и касательных напряжений, действующих по всем площадкам, которые можно провести через рассматриваемую точку.

Растягивающие продольные силы принято считать положительными, а сжимающие – отрицательными. Одновременно с продольной деформацией стержень претерпевает поперечную деформацию. При растяжении поперечные размеры уменьшаются, при сжатии увеличиваются.

Экспериментальными исследованиями установлено, что в пределах малых удлинений для пластичных материалов имеет место прямая пропорциональная зависимость между напряжениями и деформациями. Эта зависимость носит название закона Гука.

Семинарское занятие (в количестве 2 академических часов). Согласно определению механического напряжения необходимо построить эпюру напряжений оси промежуточной шестерни ступенчатого механизма, определить виды действующих нагрузок, знаки напряжений и установить от чего они зависят. Далее установить, зависит ли полное напряжение осевой балки от пространственной ориентации ее элементарной площадки.

Тема 5.3. Механические характеристики и свойства материалов

Работоспособность конструкционных материалов при различных видах нагружения определяется величинами, которые называют механическими характеристиками. Механические характеристики устанавливают границу безопасной эксплуатации элементов конструкций при статическом и динамическом (циклическом и ударном) нагружении. К числу основных механических характеристик относятся предельные напряжения, твердость, ударная вязкость.

Величины механических характеристик могут быть получены в лабораторных условиях доведением образцов до разрушения или чрезмерной деформации. Наиболее распространены испытания на растяжение и сжатие, так как они относительно просты, дают результаты, позволяющие с достаточной достоверностью судить о поведении материалов и при других видах деформации. Часто целью испытаний является определение твердости и ударной вязкости.

Все конструкционные материалы можно условно разделить на хрупкие и пластичные. К весьма пластичным материалам относят малоуглеродистые стали, алюминий, медь и некоторые другие. Эти материалы обладают способностью деформироваться в широких

пределах без разрушения. Примерами хрупких материалов могут служить чугун, высокоуглеродистые сорта стали, металлокерамические материалы, стекло. Хрупкие материалы разрушаются без заметной предварительной деформации.

Промежуточное положение занимают мало пластичные материалы, к которым могут быть отнесены многие легированные стали, дюралюминий, бронза.

Испытания на растяжение. Диаграмма растяжений

Испытание различных материалов на растяжение осуществляют статическим нагружением на специальных машинах. При растяжении образца на машинах регистрируют нагрузку на образец и его удлинение. По полученным данным строится диаграмма растяжения образца.

Семинарское занятие (количество 1 академического часа). Определить комплекс основных механических свойств конструкционных материалов. Сформулировать понятия свойств упругости, пластичности, вязкости, ползучести и выносливости конструкционных материалов. Определить, как зависят эти характеристики от способов нагружения (статического и динамического). Установить влияние температурных режимов эксплуатации на механические свойства материалов.

Тема 5.4. Допускаемые напряжения и запасы прочности

Для обеспечения работоспособности детали необходимо, чтобы фактически возникающие напряжения растяжения и сжатия не превышали некоторого безопасного, или допускаемого напряжения.

Допускаемое напряжение - это такое напряжение, при котором обеспечивается достаточная прочность и долговечность детали, оно должно являться для данного материала и вида нагружения частью экспериментально определенного предельного напряжения.

В качестве исходной величины для определения предельных напряжений выбирают одну из нормативных механических характеристик материала.

Кручение – вид сопротивления, при котором в поперечных сечениях бруса возникает только один внутренний силовой фактор – крутящий момент. Остальные силовые факторы отсутствуют. Кручение возникает в валах, винтовых пружинах, в элементах пространственных конструкций и так далее.

Вал – брус, работающий на кручение. Внешние крутящие моменты передаются на вал в местах посадки на него шкивов, зубчатых колес, там, где поперечная нагрузка смещена относительно оси вала.

Крутящий момент в поперечном сечении вала численно равен алгебраической сумме внешних моментов, приложенных по одну сторону от рассматриваемого сечения.

Под знак суммы внешние моменты входят по принятому правилу знаков: крутящий момент считается положительным, если при взгляде в торец отсеченной части вала, действующий на него внешний момент, направлен по ходу часовой стрелки. Положительный крутящий момент вызывает положительные касательные напряжения.

Практическое занятие (в количестве 2 академических часов). Решить задачу превращения реальной конструкции в расчетную схему, предполагая выполнение отдельных этапов: (применение) использование основных принципов и гипотез сопротивления материалов, схематизацию по геометрии отдельных элементов конструкции, схематизацию по опорным устройствам, схематизацию по нагрузке.

Тема 5.5. Прямой изгиб. Внутренние усилия

Изгиб - вид деформации, при котором на брус действуют внешние силы, перпендикулярные его геометрической оси или пары сил (моменты), лежащие в плоскостях, проходящих через эту ось.

Прямой брус, работающий на изгиб, называется балкой.

Изгиб является плоским, если все нагрузки, действующие на балку, приложены в одной плоскости, называемой силовой.

Изгиб прямой, если силовая плоскость совпадает с одной из главных центральных осей инерции поперечного сечения. На расчетной схеме балку принято заменять ее осью. При этом все нагрузки должны быть приведены к оси балки, т.е. силовая плоскость совпадает с плоскостью чертежа.

Неподвижность балок под действием внешних нагрузок обеспечивается благодаря наличию опорных закреплений (опор), в которых возникают реакции, которые вместе с нагрузками представляют собой уравновешенную систему внешних сил, действующих на балку.

Горизонтальные реакции шарнирно-неподвижных опор, жесткой заделки при изгибе всегда равны нулю, поскольку балка несет только вертикальную и моментную нагрузку.

Определение опорных реакций. При определении неизвестных реакций для любой плоской системы можно составить три уравнения статики. Рассматривается однопролетная консольная балка и на ее примере излагается методика определения опорных реакций.

Практическое занятие (в количестве 1 академического часа). Определить характер изгиба балки, если силовая плоскость совпадает с одной из главных центральных осей инерции поперечного сечения. Привести примеры на чертеже. На расчетной схеме изобразить балку, заменив ее осью. При этом все нагрузки должны быть приведены к оси балки, т.е. силовая плоскость должна совпадать с плоскостью чертежа.

Дисциплина 6. Соединения механических узлов и деталей

Тема 6.1. Сварные соединения (неразъемные)

В машиностроении сопряженные элементы сборочных единиц, которые фиксируются от относительного перемещения с помощью других деталей (винтов, штифтов, шпонок и др.) или с применением специальных технологических операций (сварка, пайка, загиб и др.) называются соединениями.

Соединения по принципу возможности разборки подразделяют на неразъемные, которые нельзя разобрать без разрушения или повреждения, и разъемные, позволяющие повторную разборку и сборку.

К неразъемным соединениям относятся: сварные, паяные, клеевые - неразъемность соединения осуществляется за счет сил молекулярно-механического сцепления; клепаные, соединения с натягом, вальцованные – неразъемность достигается механическими средствами.

Различают три класса сварки – термическая, механическая и термомеханическая. На практике применяют свыше 60 технологий сварки. Самое широкое распространение получила электрическая дуговая сварка.

Различают следующие типы дуговой сварки: автоматическая сварка под флюсом; механизированная сварка под флюсом; ручная сварка.

При ручной сварке шов образуется главным образом за счет металла электрода, а при автоматической и механизированной – в основном за счет расплавления основного металла.

К достоинствам сварных соединений относятся: герметичность и плотность соединений; возможность автоматизации сварочного процесса; невысокая стоимость соединений вследствие простоты конструкции сварного шва и малой трудоемкости; возможность получения изделий больших размеров.

К недостаткам сварных соединений относятся: местный нагрев в зоне сварного шва, вызывающий изменение механических свойств материала свариваемых деталей; невысокая прочность при переменных режимах работы; невысокое качество сварного шва ручной сварки; трудность контроля качества сварного шва.

Исходным условием проектирования сварных соединений является равнопрочность шва и соединяемых деталей изделия.

Стыковые соединения могут разрушаться по шву, месту сплавления металла шва с металлом детали, сечению самой детали в зоне термического влияния.

Сварные стыковые швы рассчитывают, как целое сечение основного металла, но по допускаемому напряжению, определенному для сварного соединения в зависимости от назначения условий работы.

Расчет стыкового соединения выполняют по размерам сечения детали в зоне термического влияния. Допускаемое напряжение для расчета сварных соединений принимают по механическим характеристикам материала в зоне влияния сварного шва.

Нахлесточные соединения выполняются с помощью угловых швов. В зависимости от формы поперечного сечения различают угловые швы: нормальные; вогнутые; выпуклые.

Сварной шов, расположенный перпендикулярно линии действия нагрузки называют лобовым, параллельно – фланговым, а под углом – косым. Швы, состоящие из фланговых и лобовых называют комбинированными.

Угловой шов при нагружении испытывает сложное напряженное состояние. Для упрощения расчетов условно принимают, что соединение работает на срез под действием силы, которая нагружает швы равномерно.

При расчете все внешние нагрузки приводят к центру масс сварного шва. В общем случае соединение может быть нагружено моментом растягивающей и сдвигающей сил. При определении напряжений используют принцип независимости действия сил с последующим суммированием напряжений от каждого силового фактора. Метод расчета в этом случае зависит от типа шва.

Допускаемые напряжения для сварных швов при статической нагрузке определяют в зависимости от допускаемого напряжения.

Тема 6.2. Паяные соединения (неразъемные)

Паяные соединения относятся к неразъемным соединениям, образованных силами молекулярного взаимодействия между соединяемыми деталями и присадочным материалом, называемым припоем. Основные типы соединений: стыковые, нахлесточные, тавровые.

Преимущественное применение имеют соединения нахлесточные. Стыковые и тавровые соединения применяются при малых нагрузках.

К достоинствам паяных соединений относятся: возможность соединения разнородных материалов; стойкость против коррозии, возможность соединения тонкостенных деталей. К недостаткам паяных соединений относятся сравнительно невысокая прочность и необходимость предварительной обработки соединяемых поверхностей.

Расчет на прочность паяных соединений аналогичен расчету сварных соединений. Нахлесточные паяные соединения рассчитываются на прочность при срезе. Стыковые соединения рассчитываются на прочность при растяжении по номинальному сечению соединяемых деталей.

Пайка бывает низкотемпературной и высокотемпературной (твердая). В связи с этим припой делятся на легкоплавкие, как правило, оловянно-свинцовые, с прибавкой сурьмы (ПОС90, ПОС40 и т.д.) и тугоплавкие – на медной или серебряной основе (ВПр1, ВПр2, ПСр40 и т.д.).

Величина допускаемых напряжений для паяных соединений зависит от их материала, марки припоя, способа нагрева и типа стыковки.

Семинарское занятие (в количестве 2 академических часов). Рассчитать на прочность паяное нахлесточное соединение по аналогии с расчетом на прочность сварных соединений. Нахлесточные паяные соединения рассчитываются на прочность при срезе. Рассчитать на прочность стыковое паяное соединение при растяжении по номинальному сечению соединяемых деталей.

Тема 6.3. Клеевые соединения (неразъемные)

Клеевыми называют неразъемные соединения деталей конструкций с помощью клея (неметаллического вещества), образующего тонкую прослойку между деталями. Соединение осуществляется за счет поверхностного схватывания и межмолекулярных связей в клеящем слое.

К достоинствам клеевых соединений относятся: возможность соединения деталей из однородных и неоднородных материалов, стойкость против коррозии, герметичность. К недостаткам клеевых соединений относятся: сравнительно невысокая прочность, снижение несущей способности при повышении температуры, старение с течением времени.

Клеевые соединения конструктивно подобны паяным. У них те же основные виды соединений – нахлесточные и стыковые. Наиболее распространены нахлесточные клеевые соединения, они хорошо работают при сдвиге и сжатии.

Стыковые клеевые соединения рационально применять при больших площадях соединения.

На прочность клеевых соединений влияет характер нагрузки, тип конструкции соединения, тип и толщина слоя клея.

Расчет на прочность при сдвиге клеевых соединений аналогичен расчету паяных соединений и осуществляется как проверочный.

Для склеивания стальных деталей применяют такие термоактивные клеи, как эпоксидный ВК-д и фенолоформальдегидный ВК-32-200.

Семинарское занятие (в количестве 2 академических часов). Установить характер нагрузки, влияющий на прочность клеевых соединений, тип конструкции соединения, тип и толщина слоя клея. Произвести расчет на прочность при сдвиге клеевых соединений аналогичен расчету паяных соединений. Выполнить проверочный расчет на прочность клеевого соединения.

Тема 6.4. Заклепочные соединения (неразъемные)

Заклепочные соединения образуются деформированием заклепки, свободно установленной в отверстия соединяемых деталей. Пластически деформируя, заклепку осаживают, заполняя зазор между стержнем заклепки и стенками отверстия и формируют замыкающую головку.

К достоинствам заклепочных соединений относят: стабильность качества соединения, возможность получения прочного плотного соединения, надежность и простой визуальный контроль качества, возможность соединения деталей из несвариваемых деталей.

К недостаткам заклепочных соединений относят ослабление деталей отверстиями и, связанный с этим повышенный расход металла, трудность автоматизации процесса.

Наибольшее распространение имеют сплошные стержневые заклепки, изготовленные из прутков на высадочных аппаратах.

К материалу заклепок предъявляются следующие требования: высокая пластичность для обеспечения процесса клепки; одинаковый или близкий по величине температурный коэффициент линейного расширения; однородность материалов склепываемых деталей для предотвращения гальванических токов, быстро разрушающих соединения.

Допускаемые напряжения для стальных заклепок и склепываемых соединений принимаются в соответствии с рекомендациями, основанными на опыте эксплуатации.

Расчет заклепок на прочность основан на следующих допущениях: силы трения на стыке деталей не учитываются, считается, что вся нагрузка воспринимается заклепками; расчетный диаметр заклепки d равен диаметру отверстия; нагрузка между заклепками распределяется равномерно.

При нагружении заклепочного соединения центральной продольной силой F детали стремятся сдвинуться друг относительно друга.

Практическое занятие (в количестве 1 академического часа). Вычертить эскизно основные типы заклепочных швов, показать формы закладных головок, типы заклепок.

Выявить особенности прочноплотных заклепочных соединений, обеспечивающих дополнительно герметичность соединений.

Показать по расположению соединяемых элементов соединения: нахлесточные однорядные и многорядные; стыковые с одной накладкой однорядные и многорядные; с двумя накладками однорядные и многорядные.

Тема 6.5. Резьбовые соединения (разъемные)

Резьбовые соединения являются наиболее распространенными разъемными соединениями. Основным элементом соединения является резьба, которая получается путем нарезания или накатки на детали канавок по винтовой линии.

Классификация резьбы: по форме поверхности, на которой нарезается резьба; подразделяются на цилиндрические и конические, по форме профиля резьбы; подразделяются на треугольные, трапецеидальные, прямоугольные и круглые; по направлению винтовой линии резьбы бывают правые и левые; по числу заходов резьбы подразделяются на однозаходные и многозаходные; по назначению резьбы делятся на крепежные, крепежно-уплотняющие и преобразующие механическое движение.

К достоинствам резьбовых соединений относятся: простота, технологичность конструкции, малые габаритные размеры, удобство в эксплуатации, возможность сборки и разборки, высокая нагрузочная способность, взаимозаменяемость и большая номенклатура резьбовых деталей для самых различных условий работы.

К недостаткам резьбовых соединений относятся: сравнительно большие размеры, а также то, что резьба является своего рода концентратором напряжений, что снижает ее прочность особенно при переменных напряжениях.

Метрическая резьба – наиболее распространенная из крепежных резьб. Профиль резьбы представляет собой равносторонний треугольник.

Стандартом предусмотрены резьбы с крупным и мелким шагами при одинаковом номинальном диаметре резьбы.

Трапециевидная резьба – это основная резьба в передачах винт-гайка. Ее профиль – равнобедренная трапеция. Резьба выполняется с различными по размеру шагами, отличается малыми потерями на трение, технологичностью и высоким КПД.

Упорная резьба. Профиль резьбы – неравнобочная трапеция. Рабочая сторона профиля имеет угол наклона 3° . Закругление впадин повышает сопротивление усталости винта.

Под действием осевой силы в стержне болтов возникают напряжения растяжения, в теле гайки – сжатия, в витках резьбы – смятия, среза. Все стандартные болты, винты и шпильки с крупным шагом резьбы являются равнопрочными на разрыв стержня по резьбе, на срез резьбы и отрыв головки. Поэтому расчет на прочность резьбового соединения проводят только по одному основному критерию – прочности резьбовой части стержня при растяжении.

Практическое занятие (в количестве 1 академического часа). Выполнить эскизы по классификации резьб: по форме поверхности, на которой нарезается резьба, показать цилиндрические и конические резьбы, по форме профиля резьбы: треугольные, трапециевидные, прямоугольные и круглые, по направлению винтовой линии: правые и левые, по числу заходов: однозаходные и многозаходные, по назначению: крепежные, крепежно-уплотняющие и преобразующие механическое движение.

Тема 6.6. Разъемные соединения силовых передач

Шпоночные соединения образуют силовой узел: вал, шпонка и ступица (зубчатого колеса, шкива, звездочки). Назначение шпоночных соединений – передача вращающего момента между валом и ступицей.

К достоинствам шпоночных соединений относятся: простота конструкции, удобство при сборке и разборке конструкции.

К недостаткам шпоночных соединений относится то, что шпоночные пазы ослабляют вал и ступицу насаживаемой на вал детали. Кроме того, они требуют ручной подгонки при установке шпонки в паз вала.

Ослабление вала вызывается не только уменьшением его сечения, но и значительной концентрацией напряжений изгиба и кручения, вызываемой шпоночным пазом.

Шпонки подразделяются на призматические, сегментные, клиновые и цилиндрические.

Призматические и сегментные относятся к ненапряженным соединениям. При сборке этих соединений в деталях не возникают монтажные напряжения. Напряженные соединения получают при применении клиновых шпонок.

Основным критерием работоспособности шпоночных соединений является прочность. Размеры шпонок и шпоночных пазов подбираются так, чтобы обеспечивалась прочность на срез, если для соединения выполняется условие прочности на смятие. Поэтому основной расчет шпоночных соединений – это расчет на смятие.

Шлицевое соединение представляет собой фактически многошпоночное соединение, у которого шпонки выполнены за одно целое с валом.

Достоинства шлицевых соединений, по сравнению со шпоночными:

высокая несущая способность вследствие большей суммарной площади контакта; способность точно центрировать соединяемые детали; меньшее число соединяемых деталей; взаимозаменяемость (нет необходимости в ручной пригонке).

К недостаткам шлицевых соединений относится более сложная технология изготовления, а, следовательно, более высокая их стоимость.

Соединения с треугольным профилем применяются в неподвижных соединениях. Имеют большое число мелких зубьев – выступов. Стандартный угол профиля зуба ступицы равен 30, 36 или 45 градусам. Как правило, применяют центрирование только по боковым поверхностям.

Дисциплина 7. Рабочая конструкторская документация

Тема 7.1. Чертежи деталей

Чертеж детали – это конструкторский документ, содержащий весь объем информации, необходимый для изготовления отдельной детали и ее размещения в ячейке на складе предприятия.

Рассматриваем только ту часть компонентов содержания чертежа детали, которая предусмотрена рабочей программой дисциплины.

Основу чертежа детали составляют изображения, которые выполняются по известному ГОСТ 2.305. Особенность машиностроения в том, что на главном виде деталь изображается в рабочем положении – так же, как в готовом изделии при его эксплуатации. Количество изображений определено общими правилами, изложенными в стандарте.

Изображения содержат размеры, основные правила нанесения которых содержатся в ГОСТ 2.307. В этом стандарте приведены общие правила для всех отраслей производства.

В машиностроении есть своя специфика образмеривания, согласно которой размеры проставляются строго по технологии изготовления детали, для точеных деталей, изготовленных на токарном станке. Принцип – каждому проходу резца вдоль оси соответствует свой диаметр. Максимальный диаметр (заготовки) остается свободным для сбора и компенсации технологических погрешностей. Таким образом, деталь обтачивается с разных сторон с одним переворотом в шпинделе станка.

Часто деталь изготавливается с применением нескольких технологий, например, литья и резанья. На первом этапе изготовления выполняется литье в форму и все поверхности, образованные формовкой образмериваются от литейной базы и оси симметрии (если такая ось существует). На втором этапе выполняется механическая обработка отлитой заготовки, и размеры поверхностей проставляются от базы механической обработки и той же оси симметрии.

Для обозначения шероховатостей поверхностей деталей применяются две шкалы, полученные осредненными измерениями микровпадин и микровыступов поверхности детали в микрометрах (мкм). Как правило, выполняется десяток измерений с последующим осреднением результатов.

Чертеж детали также содержит: обозначение и марку материала, наименование детали и ее обозначение, которое позволяет размещать деталь на складе и легко находить ее для направления на сборку в готовое изделие.

Схема обозначения отдельных деталей напрямую связана с обозначением изделия и отдельных видов документации.

Например, если изделие имеет обозначение XXX.012344.700, то его чертеж общего вида обозначается XXX.012344.700 ВО, сборочный чертеж – XXX.012344.700 СБ и так далее. Материал, из которого сделана данная деталь, указывается в основной надписи своей маркой и стандартом.

Практическое занятие (в количестве 2 академических часов). Выполнить чертеж детали второй степени сложности по ее наглядному изображению, проставить размеры с учетом технологической карты изготовления, указать шероховатость поверхностей, допуски на размеры и обработку готового изделия.

Тема 7.2. Схема деления изделия на составные части

Обозначения изделия и его составляющих используются при составлении схемы деления изделия на составные части.

Схема деления относится к разряду графических конструкторских документов, наглядно отражающих структуру изделия, упрощает процесс сборки отдельных деталей в узлы, агрегаты и готовое изделие. Кроме всего прочего, схема деления является основным конструкторским документом для составления спецификации к сборочному чертежу.

В схеме деления прописываются все детали сборочной единицы, в том числе покупные (изготовлены на других предприятиях), и отражена логическая цепочка сборочных операций, отражающая иерархию подчинения деталей и мелких сборочных единиц.

Семинарское занятие (в количестве 2 академических часов). По выданным чертежам общего вида изделий средней сложности необходимо построить схему деления изделия на составные части, обосновать целесообразность выделенных сборочных единиц с точки зрения экономичности и эффективности технологического процесса изготовления изделия. Обозначить каждую деталь и сборочную единицу в соответствии с построенной схемой.

Тема 7.3. Спецификация

Спецификация - текстовый конструкторский документ, отражающий наряду со схемой деления структуру изделия.

Спецификация сопровождает сборочный чертеж любого уровня: от сборочной единицы до готового изделия, и содержит номера позиций отдельных деталей и более мелких сборочных единиц, которые проставляются на сборочном чертеже.

Любая спецификация содержит раздел «Документация», в котором первой записью приводится информация о сборочном чертеже данной сборки.

Если в состав изделия входят более мелкие сборочные единицы, то они перечисляются после документации, с соответствующими обозначениями и последовательным указанием номеров позиций.

Далее, в разделе «Детали», перечисляются свободные, оригинальные детали, которые имеют обозначения данного предприятия, им также последовательно присваиваются номера позиций.

Завершают таблицу спецификации покупные изделия, не входящие в состав сборочных единиц, и материалы, применяемые при сборке изделия. Здесь также имеются последовательные номера позиций, которые будут указаны на сборочном чертеже и облегчат процесс его чтения.

Обозначение спецификации полностью соответствует обозначению самого изделия и заканчивается тремя нулями, например, ХХХ.07067.800.000.

Как правило, спецификация является отдельным документом на специальном бланке. Только в случае выполнения небольшого сборочного чертежа на формате А4 спецификацию допускается размещать на самом сборочном чертеже.

Практическое занятие (в количестве 2 академических часов). Выполнить спецификацию к сборочному чертежу среднего уровня сложности при наличии покупных деталей отраслевых и государственных стандартов, с применением сварочных технологий с последующей обработкой сварных швов.

Тема 7.4. Сборочные чертежи

Содержание сборочного чертежа определено его назначением – демонстрацией порядка сборки изделия из составляющих элементов. Сборочный чертеж содержит, как правило, одно изображение с разрезом. Два и более изображений могут выполняться для выявления особенностей соединений, неопределенных на главном виде.

Сборочный чертеж содержит размеры, количество которых определяется его назначением. Здесь проставляются только габаритные и присоединительные размеры. К последним относятся: диаметры проходных отверстий; параметры присоединительных резьб; стыковых фланцев; крепежных отверстий и так далее.

Шероховатости поверхностей не являются принадлежностью сборочного чертежа и указываются в исключительных случаях, например, при обработке сварных швов.

Важнейшей составляющей сборочного чертежа являются номера позиций отдельных деталей и сборочных единиц, которые проставляются в линию по вертикали или горизонтали, более крупным, чем размеры, шрифтом. Правило проставления позиций в линию по вертикали или горизонтали обусловлено необходимостью более эффективного поиска нужной детали на сборочном чертеже.

Номера позиций содержатся в соответствующих спецификациях к сборочному чертежу, записываются над горизонтальными полками числами контурной толщины, от которых проводятся тонкие выносные линии с точками на конце. Точки ставятся непосредственно на деталях данной позиции. Направления выносных линий не должны совпадать с направлениями штриховки в разрезах деталей.

Обозначение сборочного чертежа соответствует обозначению изделия с литерами СБ на конце, например, ХХХ.07067.800.000С.

Семинарское занятие (в количестве 1 академического часа). Для заданного сборочного чертежа по спецификации нанести номера позиций деталей и сборочных единиц на выносных линиях по правилам стандартов ЕСКД. Обозначение сборочного чертежа взять из основной надписи. Обозначения деталей и сборочных единиц разместить в соответствующей графе спецификации.

Дисциплина 8. Компьютерная графика

Тема 8.1. Графический пакет «Компас-График»

Целью освоения учебной дисциплины «Компьютерная графика» является формирование у обучающихся компетенций в соответствии с требованиями образовательного стандарта и приобретение ими необходимых знаний о последовательности действий и приемах моделирования отдельных деталей и сборочных единиц с помощью графических систем для 2D и 3D-проектирования, а также

построения на основе полученных 3D-моделей соответствующих чертежей, а также умений по оформлению технологической документации с использованием таких систем.

Перечень формируемых результатов освоения образовательной программы (компетенций) в результате обучения по дисциплине:

- способность понимать принципы работы современных информационных технологий и использовать их для решения задач профессиональной деятельности.

- знание основных возможностей и интерфейса современных графических систем (САПР)

- умение использовать приемы моделирования деталей и оформления технологической документации с помощью графических систем при решении профессиональных задач.

- владение навыками конструктивно-геометрического моделирования, необходимого для формирования творческого, эвристического мышления специалиста, использования современных программных средств при работе с конструкторской документацией.

Знакомство с графическим пакетом «КОМПАС-ГРАФИК». Решение практических задач.

Семинарское занятие (в количестве 2 академических часов). Произвести установку бесплатного графического пакета «КОМПАС-ГРАФИК», загрузив его с официального сайта компании «АСКОН». Познакомиться с интерфейсом и принципами работы графического пакета «КОМПАС-ГРАФИК», а также научиться применять основные команды графического пакета.

Тема 8.2. Компьютерное моделирование графических объектов

Система автоматизированного проектирования КОМПАС-3D. Пользовательский интерфейс и настройки системы. Создание ассоциативных чертежей, полученных из трёхмерных моделей объектов. Создание комплексного чертежа объекта на основе трёхмерной модели. Создание комплексного чертежа пересечения фигур на основе трёхмерной модели.

Все графические форматы современных систем проектирования можно разделить на две категории — растровые и векторные.

Элементами растровой графики являются небольшие точки, называемые пикселями. Векторная же графика хранится в виде команд, которые описывают размеры и форму каждого графического объекта (линии, окружности, многоугольника и т. д.), являющегося элементом изображения. Векторная графика используется в современных САПР или CAD-системах.

Система автоматизированного проектирования КОМПАС-3D позволяет автоматизировать проектно-конструкторские работы, создавать трёхмерные параметрические модели деталей, машин и механизмов, содержащие как оригинальные, так и стандартизованные элементы. Наряду с созданием трёхмерных моделей эта система позволяет также выпускать техническую документацию — чертежи, схемы, пояснительные записки и др.

Разработчик КОМПАС-3D компания "АСКОН" выпускает приложения, нацеленные на использование своих продуктов в различных областях.

Для полноценной конструкторской работы с возможностью трёхмерного моделирования деталей, а также сборочных единиц на их основе с последующим получением ассоциативных чертежей со сборок, а также спецификаций, пользователю следует остановить свой выбор на системе автоматизированного проектирования КОМПАС-3D актуальной версии.

Семинарское занятие (в количестве 2 академических часов). Изучить основные принципы и алгоритмы построения двумерных изображений в графическом пакете «КОМПАС-ГРАФИК». Изучить основные принципы и алгоритмы построения трёхмерных моделей в графическом пакете «КОМПАС-3D». Изучить основные принципы и алгоритмы получения ассоциативных чертежей с трёхмерных моделей в графическом пакете «КОМПАС-3D».

Тема 8.3. Выполнение чертежей с помощью компьютерных технологий

С помощью системы автоматизированного проектирования КОМПАС-3D пользователь сможет создавать:

- фрагменты чертежей в виде черновиков с последующим копированием в чертежи или выводом их на печать;
- полноценные чертежи единичных деталей и сборочных единиц без ассоциирования их с трёхмерными моделями;
- трёхмерные модели единичных деталей сложной формы;
- трёхмерные модели сборочных единиц различных изделий;
- ассоциированные чертежи единичных деталей с полным соблюдением российских стандартов;
- ассоциированные чертежи сборочных единиц различных изделий с полным соблюдением российских стандартов;
- спецификации на сборочные единицы, выполненные как в автоматическом режиме, так в полуавтоматическом и ручном режимах;
- текстовые документы в виде пояснительных записок.

Программный пакет КОМПАС-3D версии 15 имеет так называемую модульную структуру. Он состоит из пяти основных модулей, решающих определенные задачи проектирования в единой программной оболочке.

В начале работы с системой КОМПАС-3D - 15 пользователю предоставляется возможность выбора между несколькими основными пунктами Главного меню и иконками.

Чертёж – основной конструкторский документ системы КОМПАС-3D. Кроме графического двумерного изображения объекта (стандартные проекционные виды, виды-разрезы, выносные виды), в документ Чертёж входит также рамка, основная надпись и дополнительные объекты оформления. Их можно настраивать в зависимости от конкретных требований, предусмотренных стандартами (размеры, шероховатость, технические требования и т. д.).

Фрагмент – вспомогательный тип двумерного графического документа системы КОМПАС-3D. Фрагмент, как и чертеж, может содержать двухмерное изображение изделия, но во фрагменте нет основной надписи, рамки или каких-либо других элементов оформления.

Инструменты – пункт системного меню. Некоторые его команды содержат несколько раскрывающихся подменю, которые в свою очередь могут также иметь вложенные меню. Именно поэтому отдельные команды удобнее выполнять с помощью кнопок-ярлыков на панелях инструментов. Возможность выбора Инструментов появляется при создании чертежа.

Практическое занятие (в количестве 3 академических часов). С помощью системы автоматизированного проектирования КОМПАС-3D создавать: фрагменты чертежей в виде черновиков с последующим копированием в чертежи или выводом их на печать;

полноценные чертежи единичных деталей и сборочных единиц без ассоциирования их с трёхмерными моделями.

Тема 8.4. Выполнение ассоциативного чертежа на основе 3D моделей

В большинстве случаев трёхмерные модели деталей изначально создаются для получения конструкторской документации, в том числе чертежей. Система КОМПАС-3D LT позволяет создавать ассоциативные чертежи трёхмерных моделей, где все виды связаны с моделью и поэтому изменения модели приводят к изменению проекций модели в ассоциативных видах.

Ассоциативные виды создаются в чертеже, где создаются также разрезы (сечения) трёхмерной модели детали. Все создаваемые ассоциативные виды располагаются в проекционной связи, однако эту связь можно отключать, что позволяет произвольно размещать виды на разрабатываемом чертеже.

Выполнение ассоциативного чертежа любой модели осуществляется в три этапа:

- создание трёхмерной модели детали;
- создание ассоциативного чертежа детали;
- оформление чертежа детали посредством двумерного графического редактора.

Для создания комплексного чертежа, прежде всего, нужно выполнить ассоциативное двумерное изображение модели, для чего необходимо проделать ряд действий.

Оформление чертежа осуществляется средствами двумерной графики КОМПАС-3D LT.

Для создания комплексного чертежа пересечения двух фигур прежде всего нужно выполнить ассоциативное двумерное изображение моделей созданных фигур.

Практическое занятие (в количестве 4 академических часов). Создать комплексный чертеж и выполнить его оформление, которое производится поочередно во всех видах и включает в себя создание осевых линий, линий штриховки, оформление разрезов и сечений, нанесение размеров, технических требований и т. д. Для простановки размеров, прежде всего, нужно сделать вид «текущим» и уже затем проставлять размеры, используя горизонтальные и вертикальные линейные размеры из меню «Инструменты», а также диаметральные размеры из того же меню.

Дисциплина 9. Расчет и проектирование привода общего назначения

Тема 9.1. Построение кинематической схемы привода

Построение кинематической схемы редуктора общего назначения. Подбор электродвигателя по техническому заданию и схеме, с учетом КПД привода и числа ступеней редуктора. Распределение вращательного момента и мощности по ступеням редуктора. Приведенные значения КПД являются приближенными и учитывают потери в подшипниках.

По найденному значению мощности подбирается электродвигатель. Должно быть выполнено условие подбора мощности двигателя с учетом суммарного КПД. Выбирается ближайшее большее значение. Частота вращения вала электродвигателя выбирается из условия обеспечения заданного передаточного числа редуктора и допустимого значения передаточного числа клиноременной или цепной передачи.

Номинальная мощность электродвигателя P_1 является расчетной. Значение расчетной мощности для каждого вала привода определяется с учетом соответствующего значения КПД. Габаритные и присоединительные размеры электродвигателя выбираются по таблице.

Трехфазные асинхронные короткозамкнутые обдуваемые двигатели общепромышленного применения серии 4А, ГОСТ 19523-74 (частичное извлечение).

Семинарское занятие (в количестве 2-х академических часов). Необходимо построение кинематическую схему двухступенчатого редуктора общего назначения с прямозубым зацеплением. Подобрать по каталогу электродвигатель с учетом технического задания и схемы редуктора. Учесть КПД привода и число ступеней редуктора. Распределить вращательные моменты и мощности по ступеням редуктора.

Тема 9.2. Кинематический и силовой расчет привода

Максимально допустимые значения передаточного числа клиноременной передачи могут быть приняты до 8...10. При таких больших значениях ведомый шкив может оказаться слишком большим, а угол обхвата ведущего шкива — слишком маленьким. С аналогичным явлением можно столкнуться и при выборе максимального значения передаточного числа при проектировании цепной передачи, поэтому рекомендуется ориентироваться на оптимальные значения передаточных чисел.

Если передаточные числа превышают оптимальные значения, следует выбрать электродвигатель той же мощности с меньшей частотой вращения. При разбивке по ступеням передаточного числа редуктора следует руководствоваться рекомендациями.

Общее передаточное число редуктора определяется произведением составляющих.

Практическое занятие (в количестве 2 академических часов). Построить кинематическую схему двухступенчатого редуктора прямозубых пар с ременным приводом от электродвигателя. Рассчитать передаточное число механизма с учетом передаточного числа привода. Распределить мощности по ступеням редуктора с учетом потерь на трение, рассчитать вращающие моменты на валах.

Тема.9.3. Определение расчетной нагрузки

За расчетную нагрузку для зубьев зубчатых передач принимают максимальное значение удельной нагрузки, распределенной по линии контакта зубьев. Однако при расчете удобнее эту нагрузку выражать через передаваемый крутящий момент. Поэтому при проектном расчете размеры передач определяют через основные заданные характеристики передачи: вращающий момент и передаточное число.

Когда привод проектируется без указания его конкретного назначения, следует считаться с тем, что потребитель может загрузить передачи на полную мощность электродвигателя, поэтому расчет передачи следует вести по номинальному моменту $T_{ном}$ определенному исходя из номинального момента электродвигателя $T_{эд}$. Определение вращающих моментов на каждом из валов привода удобно свести в таблицу.

Зубчатые колеса силовых редукторов обычно изготавливаются из углеродистой или легированной стали. Меньшее из зубчатых колес пары, находящейся в зацеплении (ведущее в редукторе), обычно называют шестерней, а большее — колесом. Термин «зубчатое колесо» относится как к шестерне, так и к колесу.

Контактная прочность, обуславливающая размеры передачи, определяется главным образом твердостью поверхности зубьев. В зависимости от твердости рабочих поверхностей зубьев стальные зубчатые колеса можно разделить на две группы.

Суммарное число циклов перемены напряжений для любого зубчатого колеса определяется расчетным путем. Базовые числа циклов перемены напряжений, соответ-

ствуется длительному пределу выносливости и при расчете на контактную выносливость определяются по заранее известному графику.

Семинарское занятие (в количестве 3 академических часов). Определение расчетной нагрузки для зубьев зубчатых передач. Для этого принимается максимальное значение удельной нагрузки, распределенной по линии контакта зубьев. При расчете необходимо эту нагрузку выражать через передаваемый крутящий момент. Выполнить проектный расчет на прочность, когда размеры передач определяют через основные заданные характеристики звеньев: вращающий момент и передаточное число.

Тема 9.4. Допускаемые напряжения для расчета передачи на выносливость

Допускаемые напряжения для расчета передачи на контактную и изгибную выносливость определяют по таблицам. В таблице допускаемое напряжение дано для случая работы зубьев одной стороной. При работе зубьев обеими сторонами (реверсивная передача) значения допускаемых напряжений для расчета на изгиб следует понизить на 30%.

При расчете прямозубых передач за допускаемое контактное напряжение принимают меньшее. При разности средних твердостей рабочих поверхностей зубьев шестерни и колеса за допускаемое контактное напряжение зубчатой пары принимают меньшее из двух, полученных по зависимостям для косозубых и шевронных цилиндрических зубчатых колес.

Для учета неравномерности распределения нагрузки по ширине зубчатого колеса и динамических явлений, вызванных погрешностями нарезания зубьев, в расчетные формулы вводятся коэффициенты нагрузки, которые находятся из выражений при расчете на контактную выносливость. Такие коэффициенты носят название коэффициентов концентрации нагрузки.

Величина этого коэффициента зависит от твердости поверхности зубьев и характера нагрузки. Если твердость рабочих поверхностей зубьев хотя бы одного из зубчатых колес пары меньше принятой или, если окружная скорость пары меньше принятой, то зубчатые колеса считаются прирабатывающимися. При постоянной нагрузке для прирабатывающихся зубьев коэффициенты концентрации равны единице.

Коэффициенты, учитывающие динамическую нагрузку, для расчета на контактную выносливость и на выносливость при изгибе для всех видов зубчатых колес выбирают по рабочей таблице.

Практическое занятие (в количестве 2 академических часов). При заданных мощностях, вращающих моментах, угловых скоростях и времени эксплуатации выполнить прочностной расчет зубчатых пар тихоходных и быстроходных ступеней редуктора. Рассчитать межосевые расстояния и основные геометрические параметры зубчатых колес с учетом факторов износостойкости поверхностей зацепления.

Тема 9.5. Проектный расчет закрытой цилиндрической передачи

Основные размеры передачи определяются из расчета на контактную выносливость. Предварительно рассчитывается значение межосевого расстояния. Для прямозубой передачи рабочая ширина колеса, ширина шестерни в мм.

Полученные значения в мм округляют до ближайших значений по ГОСТ 6636-69. Ориентировочное значение модуля m мм вычисляют по стандартной формуле и округляется до ближайшего стандартного значения по таблице.

Рассчитывается суммарное число зубьев и угол наклона зуба, число зубьев ведущего и ведомого колес.

Семинарское занятие (в количестве 2 академических часов). Выполнить проектный расчет закрытой пары прямозубой цилиндрической передачи, на основании чего определить основные размеры зубчатых колес, валов и осей. Для шестерни и колеса определить ширину и межцентровое расстояние, пересчитать количество зубьев для каждого колеса, на основании чего уточнить передаточное число звена зацепления.

Тема 9.6. Проверка зубьев редуктора на выносливость при изгибе

Предотвращение усталостного излома гарантируется с заданной степенью вероятности при сопоставлении расчетного напряжения на переходной поверхности зуба с допускаемым напряжением.

Для прямозубых колес это значение принимают в зависимости от числа зубьев и для косозубых и шевронных колес в зависимости от эквивалентного числа зубьев.

Выполняется проверка на выносливость при изгибе зубьев шестерни. Межосевое расстояние соосного редуктора определяется из расчета на контактную выносливость тихоходной ступени. Коэффициент ширины быстроходной ступени определяется по рабочей формуле.

Далее определяются основные параметры зубчатого зацепления, начиная с диаметров делительных окружностей. Точность определения значений диаметров делительных окружностей должна быть не менее 0,001 мм. После определения диаметров делительных окружностей проверяется межосевое расстояние.

Далее вычисляются диаметры окружностей вершин и диаметры окружностей впадин.

Семинарское занятие (в количестве 1 академического часа). Произвести расчет зубьев звена редуктора с цилиндрическими прямозубыми колесами на изгибную выносливость. Сравнить расчетные напряжения на переходной поверхности зуба с допустимым напряжением, которое для прямозубых колес принимается в зависимости от числа зубьев шестерни. Предварительно необходимо рассчитать коэффициент ширины по формуле быстроходной ступени.