

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»



ПОТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе  
/Д.С. Гуш/  
« \_\_\_\_\_ » сентября 2020 г.

**ПРОГРАММА**  
**вступительного испытания для поступающих в аспирантуру**  
**по направлению 15.06.01 Машиностроение**  
**программа (профиль) 05.02.02 Машиноведение, системы**  
**приводов и детали машин**

Красноярск 2020

В основу настоящей программы положены базовые разделы по основам конструирования машин, основам теории надежности, основам метрологии и стандартизации, теории машин и механизмов, динамике и прочности конструкций, строительной механике, системам гидро-, пневмо- и электроприводов, системам управления приводами, компьютерным методам проектирования и моделирования и др.

Программа разработана экспертным советом Высшей аттестационной комиссии Министерства образования Российской Федерации по машиностроению при участии СПбГПУ, СПб института машиностроения РАН, МАИ(ТУ) и МГТУ им. Н.Э. Баумана.

## **1. Машиноведение и детали машин**

Роль машин в повышении производительности труда. Краткие сведения из истории машиностроения. Основные направления в совершенствовании конструкций машин. Классификация технических объектов машиностроения и деталей машин.

Краткий исторический обзор развития теории расчета и проектирования машин; роль российских ученых-механиков. Тенденции развития образования в области машиностроения.

*Расчеты на прочность деталей машин; работоспособность и надежность машин*

Требования к деталям машин и критерии их работоспособности: прочность, жесткость, вибростойкость, износостойкость, теплостойкость. Понятие качества изделия в машиностроении. Критерии качества и управление' показателями качества изделий. Методы обеспечения работоспособности и надёжности машин. Общая характеристика расчетных методов оценки работоспособности деталей машин. Проверочные и проектировочные расчеты.

Основы расчетов на прочность. Характеристики статической и циклической прочности материалов. Расчетные, предельные и допускаемые напряжения. Расчетные и нормативные коэффициенты запаса прочности.

Надежность машин. Основные положения и показатели надежности. Общие зависимости надежности. Надежность в период нормальной эксплуатации машин. Надежность восстанавливаемых изделий. Оценка надежности систем по надежности элементов. Надежность систем с резервированием. Статистический контроль надежности и долговечности.

Вероятностные методы расчета деталей машин. Типовые режимы нагружения и их параметры. Понятие несущей способности деталей машин как случайной величины. Определение вероятности безотказной работы деталей и механизмов.

Расчеты на выносливость. Расчетно-экспериментальное определение пределов длительной и ограниченной выносливости деталей Учет сложного напряженного состояния материала деталей. Расчеты на выносливость при нерегулярном нагружении.

Трение, изнашивание и смазка деталей. Виды трения и изнашивания. Геометрические характеристики поверхностей и площадь касания. Сухое трение. Граничное трение. Трение в условиях гидродинамической и гидростатической смазки. Газовое трение. Износ. Надежность в период износных отказов. Способы повышения износостойкости.

Метод конечных элементов, основные понятия. Возможности метода для анализа работоспособности деталей по критериям прочности, жесткости, вибростойкости, теплостойкости.

Выбор материалов. Стандартизация. Взаимозаменяемость.

Характеристики прочности материалов и классификация условий работы деталей машин. Критерии выбора материалов.

Основные методы поверхностных упрочнений деталей машин: термические, химико-термические, механические, термомеханические. Основные пути экономии металла. Новые материалы и перспективы их применения в машинах.

Стандартизация деталей машин и ее значение. Система стандартов. Использование стандартов при проектировании машин. Типизация. Унификация моделей. Проектирование машин с учетом требований стандартизации. Агрегатирование машин.

*Взаимозаменяемость. Допуски и посадки*

Основные принципы проектирования деталей машин. Составление задания. Оптимизация конструкции. Расчетные схемы. Этапы разработки конструкций. Учет технологических требований.

*Соединения*

Классификация соединений. Соединения неразъемные и разъемные. Соединения фрикционные и нефрикционные (зацеплением). Соединения стержней, листов и корпусных деталей; соединения вал-ступица, соединения валов, соединения труб.

Резьбовые (винтовые) соединения. Основные определения. Классификация резьбы. Основные параметры резьбы. Стандарты на резьбу. Основные типы крепежных соединений. Способы стопорения резьбовых соединений. От самоотвинчивания. Материалы, применяемые для изготовления резьбовых деталей. Классы прочности.

Теория винтовой пары. Зависимость между моментом, приложенным к гайке, и осевой силой винта. Моменты сил трения на опорной поверхности гайки и головки винта. Коэффициент полезного действия винтовой пары. Самоторможение.

Расчет резьбы на прочность. Высота гайки и глубина завинчивания.

Расчет соединений при эксцентричном нагружении болта или перекосе опорных поверхностей. Расчет соединений, нагруженных в плоскости стыка.

Напряженные (затянутые) резьбовые соединения, определение усилий. Коэффициент внешней нагрузки, определение податливостей систем «болт» и «фланец». Прочность при переменных нагрузках. Расчеты напряженных резьбовых соединений: присоединений крышек цилиндров, фланцевых соединений труб. Расчет соединений, включающих группу болтов.

Конструкторские и технологические мероприятия по повышению выносливости болтов, винтов, шпилек.

Сварные соединения и их роль в машиностроении. Соединения дуговой электросваркой, электрошлаковой сваркой, контактной сваркой. Концентрация напряжений. Остаточные напряжения и деформации. Расчеты на прочность сварных соединений. Допускаемые напряжения и запасы прочности; нормативы. Расчеты на прочность при переменных напряжениях.

Заклепочные соединения. Паяные соединения. Клеевые соединения. Область применения. Расчет на прочность.

Соединения деталей с натягом и области их применения в машиностроении. Несущая способность соединений. Расчет натяга при передаче крутящего момента. Прочность сопрягаемых деталей. Расчетные и технологические натяги. Рассеяние числовых характеристик несущей способности в связи с рассеянием натягов. Вероятностный расчет. Способы повышения несущей способности. Конические соединения. Технология сборки. Силы запрессовки и распрессовки. Соединения нагревом или охлаждением соединяемых деталей. Соединения с помощью стяжных колец и планок.

Клеммовые соединения. Конструктивные исполнения. Методики расчета для случаев нагружения соединения крутящим моментом и осевой силой.

Шпоночные, зубчатые (шлицевые) и профильные (бесшпоночные) соединения. Основные типы и области применения. Способы центрирования. Стандарты. Концентрация нагрузки. Расчеты несущей способности.

#### *Механические передачи*

Назначение и роль передач в машинах. Классификация механических передач. Передачи трением и передачи зацеплением. Передачи с постоянным и переменным передаточным отношением. Передачи ступенчатого и бесступенчатого регулирования. Управление регулируемыми передачами.

Основные параметры передач: кинематические, энергетические, геометрические.

#### *Зубчатые передачи*

Основные сведения. Классификация. Области применения. Стандартные параметры зубчатых передач. Геометрия и кинематика. Точность изготовления зубчатых колес.

Виды повреждений зубьев зубчатых колес. Критерии работоспособности зубчатых передач. Материалы колес. Методы объемного и поверхностного упрочнения.

Определение расчетных нагрузок. Учет перегрузок, концентрации нагрузки по длине зубьев, режима работы и срока службы, динамичности нагрузки, связанной с качеством изготовления. Силы в зацеплении.

Контактные напряжения и контактная прочность. Расчет зубьев прямозубых, косозубых и шевронных цилиндрических передач по контактными напряжениям. Расчетные зависимости для проектного и проверочного расчетов. Допускаемые напряжения.

Расчет зубьев прямозубых, косозубых и шевронных цилиндрических

передач на изгиб. Номинальные напряжения. Коэффициент формы зуба. Концентрация напряжений у корня зуба. Учет совместной работы двух пар зубьев. Расчетные зависимости для проектного и проверочного расчетов. Допускаемые напряжения. Прочность скорректированных зубчатых колес.

Оптимизация конструкции зубчатых передач. Передаточное отношение' одноступенчатых и многоступенчатых зубчатых передач.

Конические зубчатые передачи с прямолинейными и криволинейными зубьями. Основные сведения из геометрии конических зацеплений. Особенности расчета на прочность.

Передачи с кругловинтовым зацеплением Новикова с одной и двумя линиями зацепления. Области применения. Расчеты.

Планетарные зубчатые передачи. Расчет и конструирование, типы. Кинематика, силы в зацеплении.

Волновые передачи. Кинематика и профилирование. Расчеты на прочность. Коэффициент полезного действия. Конструкции и область применения.

Передачи цилиндрическими винтовыми колесами. Гипоидные передачи.

Основные типы редукторов. Стандарты на основные параметры редукторов. Зубчатые коробки передач.

#### *Червячные передачи*

Основные понятия и определения. Общая характеристика. Область применения. Кинематика и геометрия червячных передач. Основные параметры. Стандарты червячных передач. Коэффициент полезного действия червячных передач. Применяемые материалы.

Виды повреждений червячных передач. Критерии работоспособности.

Силы, действующие в червячном зацеплении. Основы расчётов червячных передач по контактным напряжениям.

Расчет зубьев червячного колеса на изгиб. Коэффициент формы зуба. Условный угол обхвата. Длина контактных линий. Допускаемые напряжения.

Тепловой расчет. Искусственное охлаждение.

Понятие о расчете зубьев на сопротивление заеданию. Расчет червяка на прочность и жесткость.

Современные конструкции червячных редукторов. Смазка червячных передач.

Глобоидные передачи.

#### *Ременные передачи*

Общие сведения и основные характеристики. Область применения. Разновидности ременных передач. Основные типы и материалы плоских и клиновых ремней. Новые типы ремней и ремни из новых материалов. Стандарты на ремни. Геометрия и кинематика ременных передач.

Усилия и напряжения в ремне. Коэффициент тяги, кривые скольжения. Коэффициенты трения между ремнем и шкивом. Коэффициент полезного действия ременной передачи. Расчет ременных передач на основе кривых скольжения. Допускаемые полезные напряжения. Учет влияния отношения толщины ремня к диаметру шкива, углов обхвата, центробежных сил, режима

работы. Долговечность ременной передачи.

Особенности расчета клиноременных передач. Расчет на тяговую способность и долговечность.

Способы натяжения ремней. Передача с натяжным роликом. Силы, действующие на валы ременной передачи. Шкивы ременных передач. Расчет основных элементов цельных и сварных шкивов.

Поликлиноременные передачи. Зубчато-ременные передачи.

#### *Цепные передачи*

Классификация и конструкции приводных цепей. Область применения цепных передач в машиностроении. Основные характеристики. Выбор основных параметров цепных передач. Кинематика и динамика цепных передач. Коэффициент полезного действия.

Виды повреждений, критерии работоспособности цепных передач и исходные положения для расчета. Натяжение в цепных передачах. Несущая способность и подбор цепей.

Проектирование звездочек. Смазка и эксплуатация цепных передач.

#### *Передачи винт-гайка*

Области применения. Типы ходовой резьбы. Допускаемые напряжения и скорости. Требования к точности. Конструкции. Передачи винт-гайка качения шариковые и роликовые.

#### *Фрикционные передачи и вариаторы*

Принцип работы. Основные типы и область применения. Общие эксплуатационные характеристики. Геометрическое и упругое скольжение. Элементы конструкций. Материалы. Передачи для постоянного передаточного отношения. Бесступенчатые передачи. Рекомендация по выбору.

Кинематика передач. Точность передаточного отношения. Силы прижатия тел качения. Потери на трение; коэффициент полезного действия.

Проверочный расчёт передач по контактным напряжениям. Учет переменного режима нагружения. Допускаемые контактные напряжения. Определение размеров тел качения.

#### *Оси, валы и их соединения*

Классификация валов и осей. Конструкции. Критерии расчета: прочность, жесткость, колебания. Материалы. Выбор расчетных нагрузок. Выбор расчетных схем.

Проектный расчет валов. Проверочный расчет валов на выносливость при совместном действии напряжений кручения и изгиба. Эффективные коэффициенты концентрации напряжений. Влияние на прочность размерного фактора. Выбор запасов прочности или допускаемых напряжений. Расчет по заданной вероятности безотказной работы. Упрочнения валов путем поверхностной термической и химико-термической обработки, поверхностного наклепа.

Расчет валов на жесткость. Допускаемые углы наклона упругой линии и прогибы.

Расчет многоопорных валов. Конструкции и расчет коленчатых валов. Конструкции и расчет гибких валов. Проверка критических частот вращения

валов и систем. Учет деформаций опор. Учет вибрационных нагрузок при расчете на прочность.

#### *Подшипники скольжения*

Общие сведения. Основные типы и параметры подшипников скольжения.

Условия работы и виды разрушения подшипников скольжения. Подшипниковые материалы. Биметаллические и полиметаллические вкладыши, пластмассовые вкладыши и вкладыши с пропиткой.

Режимы трения и критерии расчета. Основы теории жидкостного трения. Распределение давления в смазочном слое. Расчет подшипников при условии жидкостного трения. Тепловой расчет подшипников. Подвод смазки в подшипниках. Расположение смазочных канавок. Расход смазки. Системы смазки.

Практический расчет подшипников, работающих в условиях смешанного трения.

Конструкции подшипников скольжения. Регулирование зазора. Сегментные подшипники. Подшипники с газовой смазкой. Гидростатические подшипники, расчет и конструкции. Расчет и конструкции подпятников скольжения.

#### *Подшипники качения*

Классификация подшипников качения. Система условных обозначений. Точность подшипников. Выбор типов подшипников в зависимости от условий работы. Материалы тел качения и сепараторов. Потери на трение в подшипниках.

Условия работы подшипника, качения, влияющие на его работоспособность. Распределение нагрузки между телами качения, контактные напряжения в деталях подшипника. Кинематика и динамика подшипника.

Выбор подшипников по динамической грузоподъемности. Эквивалентная динамическая нагрузка. Особенности расчета нагрузки радиальноупорных подшипников. Проверка и подбор подшипников по статической грузоподъемности.

Максимальные скорости вращения подшипников. Выбор быстроходных подшипников качения.

Посадки подшипников. Выбор предварительного натяга в подшипниках. Смазка подшипников. Сборка и разборка подшипниковых сборочных единиц.

Направляющие прямолинейного движения. Назначение и области применения. Направляющие скольжения. Направляющие качения. Общие основания расчета.

#### *Муфты для соединения валов*

Назначение и классификация муфт.

Глухие муфты: втулочные и фланцевые. Конструкции и схемы расчета.

Жесткие компенсирующие и подвижные муфты: зубчатые, крестовые и шарнирные.

Упругие муфты. Работа упругих муфт при действии переменных и

ударных моментов. Упругие муфты с резиновыми и пластмассовыми упругими элементами. Демпфирующая способность упругих муфт. Конструкции и расчет.

Сцепные управляемые муфты. Жесткие сцепные муфты: кулачковые и зубчатые. Форма зубьев. Включение и выключение муфт. Синхронизаторы. Расчет зубьев.

Муфты трения. Классификация. Механизмы управления. Динамика включения. Расчетные коэффициенты трения и допускаемые давления. Выбор материалов. Нормали. Особенности конструкций и расчета шиннопневматических муфт трения.

Самоуправляемые сцепные муфты. Предохранительные муфты со срезными штифтами, пружинно-кулачковые и фрикционные. Особенность конструкций и расчет.

Обгонные муфты, конструкция и расчет. Центробежные муфты. Электромагнитные фрикционные и порошковые муфты, электромагнитные муфты скольжения и гидравлические муфты: области применения.

Динамика привода с упругой муфтой. Явление резонанса. Методы отстройки от резонанса с помощью упругой муфты.

#### *Пружины*

Назначение пружин. Классификация пружин по виду нагружения и по форме. Области применения отдельных типов пружин. Материалы пружин. Допускаемые напряжения. Схемы технического расчета (подбора) цилиндрических винтовых пружин растяжения и сжатия. Общие понятия о винтовых пружинах кручения, спиральных пружинах (часового типа), тарельчатых пружинах, рессорах.

#### *Испытание деталей машин*

Испытание деталей машин по основным критериям. Основные средства испытаний. Компьютерная обработка результатов испытаний.

Автоматизированное проектирование. Программные комплексы рабочего места конструктора для твердотельного моделирования, генерации чертежей с использованием библиотек стандартных деталей, расчетов конструкций по различным критериям работоспособности. CAD системы, PDM системы.

## **1. Системы приводов**

Классификация приводов. Электрические, гидравлические, пневматические и смешанные приводы. Основные характеристики и области применения.

Состояние теории, расчета и проектирования приводов, перспективы развития. Методы анализа и синтеза. Детерминированные и статистические методы. Задача оптимального проектирования. Понятие о компьютерных методах проектирования приводов.

#### *Системы гидроприводов*

Структурные и принципиальные схемы объемных гидроприводов,



гидродинамических передач, следящих и электрогидроприводов. Сравнительная оценка. Область применения систем гидроприводов.

Объемные гидравлические машины. Их классификация, конструктивные схемы. Особенности кинематики аксиально-поршневых карданных и бескарданных, поршневых многократного действия, шиберных, шестеренных, коловратных, планетарно-роторных гидромашин. Области применения. Особенности конструкций узлов распределения рабочей жидкости в гидромашинах. Индикаторные диаграммы гидромашин. Пути совершенствования рабочих процессов в гидромашинах. Борьба с шумом. Определение потерь в гидромашинах. Узлы с гидростатической разгрузкой и гидростатические подшипники в гидромашинах. Силы, действующие в объемных гидромашинах. Статические и динамические характеристики. Методы проектирования.

Гидроцилиндры. Основные схемы. Методы выбора и расчет основных параметров гидроцилиндров.

Направляющие и регулирующие гидрораспределители для управления объемными гидродвигателями.

Регулирующие гидроаппараты. Основные типы регулирующих гидроаппаратов. Основные виды и характеристики постоянных дросселей. Основные виды регулируемых дросселей и их особенности при использовании в системах гидроавтоматики.

Золотниковые дросселирующие гидрораспределители. Объемные статические и энергетические характеристики золотниковых гидрораспределителей, работающих от источников с постоянным давлением, а также от источников с постоянным расходом. Силы, действующие на золотниках.

Основные характеристики регулируемого дросселя "сопло-заслонки". Силы, действующие на заслонку. Одно и двухщелевой дросселирующий гидрораспределитель типа "сопло-заслонка". Обобщенные статические и энергетические характеристики.

Гидрораспределители со струйной трубкой. Основные схемы. Статические и энергетические характеристики.

Принципиальные схемы и основные элементы гидравлических исполнительных механизмов с объемным управлением. Особенности исполнительного механизма по сравнению с гидropередачей. Скоростная, силовая и внешняя характеристики исполнительного механизма. Ограничение по нагрузке. Динамические характеристики ГИМ с объемным управлением. Передаточная функция и частотная характеристика. Переходные процессы в исполнительном механизме.

Статические, энергетические и динамические характеристики ГИМ с объемным управлением.

Основные элементы и принципиальные схемы гидравлических исполнительных механизмов с дроссельным регулированием.

Статические и энергетические характеристики гидравлических исполнительных механизмов с дроссельным регулированием. Влияние

геометрических характеристик распределителей на характеристики исполнительных механизмов. Мощность и коэффициент полезного действия гидравлических исполнительных механизмов. Нагрев рабочей жидкости в системах дроссельного управления.

Динамические характеристики гидравлического исполнительного механизма дроссельного управления. Математические модели идеального и реального исполнительного механизма.

Динамические характеристики гидравлических следящих систем дроссельного регулирования.

Уравнение движения гидравлической следящей системы дроссельного управления с учетом сжимаемости и перетечек жидкости. Демпфирование. Устойчивость, методы повышения устойчивости.

Гидравлические усилители мощности. Основные схемы, характеристики и параметры гидравлических усилителей мощности: без обратной связи, с обратной связью по положению распределительного золотника, по расходу жидкости и нагрузке исполнительного механизма.

Статические и динамические характеристики гидравлических усилителей без обратной связи.

Статические и динамические характеристики гидравлических усилителей с обратной связью по перемещению распределительного золотника.

Электрогидравлические следящие системы. Основные принципы построения.

Основные элементы электрогидравлических систем.

Электрические усилители, датчики положения, датчики скорости, датчики давления постоянного и переменного тока.

Электромеханические преобразователи. Принципы работы, схемы. Статические и динамические характеристики и их связь с основными параметрами.

Электрогидравлические усилители-преобразователи. Основные принципы схемного построения. Статические и динамические характеристики. Сравнительный анализ.

Электрогидравлические следящие приводы. Основные схемы. Принципы построения. Методы обеспечения устойчивости и повышения добротности. Синтез корректирующих электрических и гидромеханических устройств.

Электрогидравлические приводы с широтно-импульсным управлением. Основные схемы. Статические характеристики. Методы повышения устойчивости. Методы синтеза гидроприводов. Методы коррекции. Анализ характеристик приводов при случайных воздействиях.

Аналоговая гидравлическая техника. Электрогидравлическая аналогия в неустановившемся режиме.

Функциональные гидравлические сопротивления. Гидравлический капилляр как комплексное гидравлическое сопротивление. Активное гидравлическое емкостное и индуктивное сопротивление. Гидравлический

операционный усилитель и его функциональные возможности. Применение гидравлической аналоговой техники для автоматизации производственных процессов и для коррекции динамических свойств гидравлических следящих систем.

Гидравлические логические элементы, их разновидности и конструктивные особенности. Построение логических звеньев, реализующих функции "И", "ИЛИ", "НЕ". Триггеры с отдельными и счетными входами на базе гидравлических логических элементов. Методика синтеза логических блоков для управляющих устройств или дискретных систем программного управления. Применение таблиц состояний и переходов для минимизации логических систем.

Принципы действия и области применения гидравлических дискретных систем. Принципы дискретного регулирования скорости и перемещения силовых гидравлических механизмов. Классификация гидравлических дискретных систем. Преимущества и области применения дискретных гидравлических систем.

Дискретное регулирование скорости в силовых разомкнутых гидроприводах. Импульсное регулирование в гидравлических разомкнутых системах с широтной и частотной модуляцией. Электрогидравлические импульсные системы с частотно-импульсной модуляцией и формированием импульсов расхода.

Гидравлические и электрогидравлические дискретные следящие системы. Основные режимы работы гидравлических релейных следящих систем. Гидравлические релейные позиционные следящие системы. Гидравлические релейные контурные следящие системы. Методы расчета устойчивости релейных систем. Электрогидравлические импульсные следящие системы с широтно-импульсной модуляцией. Электрогидравлические импульсные следящие системы с частотно-импульсной модуляцией. Динамические характеристики гидравлических импульсных систем.

Гидравлические и электрогидравлические цифровые и шаговые приводы. Классификация гидравлических дискретных приводов. Принципы действия и устройство цифро-аналоговых преобразователей. Электрогидравлические шаговые приводы, их устройство, и динамические характеристики. Гидродвигатели с цифровым управлением. Особенности их конструкции и расчета. Шаговые гидродвигатели. Принципы действия, особенности расчета их конструирования. Области эффективного применения цифровых и шаговых гидроприводов.

Объемные гидропередачи. Автоматическое регулирование гидропередач в режиме постоянной мощности. Устройство и методика расчета автоматических регуляторов производительности насоса. Математическое описание и расчет устойчивости автоматических регуляторов гидромоторов.

Двухпоточные гидропередачи с внутренним и внешним разделением потока мощности, основные схемы и особенности расчета.

Гидродинамические передачи. Основные схемы систем с гидродинамическими передачами. Область применения.

Гидромуфты. Баланс энергии, внутренняя и внешняя характеристики. Тормозные режимы. Уравнения подобия и безразмерные характеристики. Нагружающие и энергетические свойства гидромуфт. Работа гидромуфты в приводе с различными типами двигателей. Предохранительные гидромуфты, их статические и динамические характеристики. Гидромуфты с наклонными лопатками, особенности их применения. Внешние статические и динамические характеристики. Расчет теплового баланса гидромуфт. Регулирование гидромуфт. Расчет осевых сил, способы их компенсации. Параметрические ряды гидромуфт. Перспективы усовершенствования конструкций и внешних характеристик гидромуфт.

Синтез гидромуфт с учетом неустановившихся режимов их работы в приводах различных машин и механизмов.

*Системы пневмоприводов. Классификация и области применения приводов*

Основные характеристики процесса сжатия воздуха. Понятие давления, влажности, состава газообразного рабочего тела.

Типы пневматических исполнительных устройств поступательного и вращательного движения. Поршневые, мембранные, шланговые, сильфонные, роторные приводы, пневматический «мускул».

Стандарты ISO для пневматических приводов.

Газодинамические законы. Газодинамические модели наполнения и опорожнения полостей постоянного и переменного объема.

Пневматический привод одностороннего действия. Статическая характеристика привода одностороннего действия. Циклограмма его работы. Динамика привода.

Пневматический привод одностороннего действия с пружинным возвратом. Статическая характеристика. Ограничения по ходам. Циклограмма работы. Динамика привода.

Пневматический поршневой привод двустороннего действия. Циклограмма работы. Динамика привода.

Пневматические мембранные приводы.

Пневматические позиционеры. Основные схемы. Цифровой пневматический привод. Следящий пневматический привод. Сложности реализации следящего режима.

Пневмогидравлические приводы. Области применения. Преимущества и недостатки по сравнению с гидравлическими и пневматическими приводами. Методика расчета статических и динамических характеристик пневмогидравлических приводов.

Пневматические распределительные устройства. Распределители клапанного и золотникового типа. Цилиндрические и плоские золотники. Расчет золотников и выбор основных размеров. Схемы распределителей с импульсным и потенциальным управлением. Расчет параметров золотниковых пружин.

Устройства регулирования скорости исполнительных механизмов. Основные конструктивные схемы дросселей. Обратные клапаны и дроссели с

обратным клапаном. Основные схемы подключения устройств регулирования скорости исполнительных механизмов. Их сравнительные характеристики.

Аппаратура подготовки воздуха. Основные схемы фильтров, регуляторов давления, маслораспределителей. Классы чистоты воздуха. Технические решения обеспечения требуемой степени очистки воздуха.

Расчёт упругих элементов регуляторов давления. Регуляторы со сбросом воздуха из системы и без сброса. Клапаны сброса.

Усилители давления. Расчёт параметров усилителей давления.

Принципы действия осушителей воздуха.

Контрольная пневматическая аппаратура. Классификация, основные конструкции.

Преобразователи. Цифроаналоговый преобразователь. Аналогоцифровой преобразователь.

Элементы математической логики. Понятие алгебры логики. Конъюнктивные и дизъюнктивные нормальные формы.

Различные виды пневматических систем управления. Централизованные системы с временным управлением. Централизованные системы с путевым управлением. Децентрализованные системы с путевым управлением.

Синтез одноктактных систем управления. Определение одноктактной системы управления. Синтез системы управления несколькими исполнительными устройствами. Составление описания алгоритма работы системы. Способы упрощения схемы пневматического управляющего устройства.

Синтез многотактных систем управления. Определение многотактной системы управления, как системы с изменяемым внутренним состоянием или как системы с памятью. Представление многотактной системы управления в виде логического многополюсника (одноктактного эквивалента, многотактной системы с элементами с обратной связью).

Запись условий работы машины-автомата. Автономные и неавтономные системы управления. Циклограмма системы управления машины-автомата. Запись условий работы машины-автомата с помощью таблицы включений и с помощью графа. Нагруженный граф. Минимальное число элементов памяти. Реализуемые и нереализуемые таблицы включений.

Синтез многотактных систем управления приводами с двухсторонними распределителями.

Структурно-ориентированное формализованное описание условий работы управляющего устройства. Графы циклических процессов. Синтез по позиционной структурной стандартной организации.

Основные преимущества и недостатки пневматически управляющей техники и ее место в общем классе технических средств управления приводами.

Реализация логических функций на струйных элементах и стандартных пневматических элементах.

*Системы электроприводов*

Назначение и области применения электропривода. Обобщенная

функциональная схема электропривода.

Механическая часть электропривода. Моменты и силы сопротивления. Приведение моментов, моментов инерции, инерционных масс, упругих моментов и моментов диссипативных сил к одной оси. Двухмассовая электромеханическая система с упругостью первого и второго рода. Учет потерь в передачах. Механическая часть привода как объект управления.

Механические характеристики и регулировочные свойства электродвигателей постоянного тока, питаемых от сети или от регулируемых преобразователей: генератора, управляемого выпрямителя, широтно-импульсного преобразователя. Способы регулирования скорости и момента. Высокомоментные электродвигатели.

Механические характеристики и регулировочные свойства электродвигателей переменного тока. Математические модели асинхронных двигателей. Регулирование скорости асинхронных двигателей, частотное регулирование.

Динамика разомкнутых электромеханических систем. Структурные схемы и передаточные функции электроприводов постоянного и переменного тока. Параметры и передаточные функции преобразователей в системах преобразователь-двигатель. Механические, электромагнитные и электромеханические переходные процессы в электроприводах постоянного тока при питании якоря от сети и от преобразователей. Методы уменьшения времени переходных процессов. Механические и электромеханические процессы в электроприводах переменного тока с асинхронными двигателями. Переходные процессы в системе с упругими связями и зазорами в передачах. Влияние способов управления на механические и регулировочные характеристики, энергетику электроприводов.

Автоматические системы управления электроприводами. Принципы управления координатами электропривода. Стандартные настройки простейших контуров, контуров с нелинейностями, одноконтурных систем, систем подчиненного регулирования, систем с наблюдателем.

Автоматические системы управления электроприводами постоянного тока. Математическое описание замкнутых систем автоматического регулирования. Одноконтурные системы регулирования скорости изменением напряжения якоря. Системы подчиненного регулирования. Системы двухзонного регулирования скорости.

Автоматические системы управления электроприводами переменного тока. Математическая модель асинхронного двигателя при управлении частотой и напряжением статора. Преобразователи частоты с непосредственным преобразованием частоты и с промежуточным звеном постоянного тока. Скалярный и векторный способы частотного управления двигателями переменного тока. Системы частотного управления вентильными двигателями. Автоматические системы управления асинхронными двигателями с фазным ротором.

Автоматические системы стабилизации скорости электроприводов. Аналоговые системы стабилизации скорости. Цифровые, цифро-аналоговые

системы стабилизации скорости. Импульсно-фазовые системы стабилизации скорости высокоточных электроприводов.

Следящие электроприводы. Ошибки при обработке управляющих воздействий. Повышение точности обработки за счет выбора структуры и параметров регуляторов. Системы с комбинированным управлением. Двухканальные следящие системы. Методы компенсации влияния сухого трения и люфтов в передачах. Синтез следящих систем.

Позиционные электроприводы. Принципы построения систем управления положением, Настройка в режиме малых перемещений. Реализация требуемого закона движения при обработке средних и больших перемещений. Синтез позиционных систем.

### **Список рекомендованных источников**

1. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3 т. изд. 8-е. - М.: Машиностроение, 1999.
2. Биргер И.А., Иосилевич Г.Б. Резьбовые и фланцевые соединения. - М., 1990.
3. Биргер И.А., Шорр Б.Ф., Иосилевич Г.Б. Расчеты на прочность деталей машин. - М.: Машиностроение, 1993.
4. Детали машин: Учеб. для вузов /Л.А. Андриенко, Б.А. Байков, И.К. Ганулич и др.; Под ред. О.А. Ряховского. - М.: Изд-во МГТУ, 2002.
5. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Конструирование узлов и деталей машин. 7-е изд. - М.:Высш. шк., 2001.
6. Иванов М.Н. Волновые зубчатые передачи. - М.: Высш. шк., 1981.
7. Иванов В.М. Детали машин. 7-е изд. - М.: Высш. шк., 2000.
8. Когаев В.П., Дроздов Ю.Н. Прочность и износостойкость деталей машин. - М., 1991.
9. Машиностроение. Энциклопедия: Детали машин. Конструкционная прочность. Трение, износ, смазка /Под общ. ред. Д.Н. Решетова. - М.: Машиностроение, 1995. Т.4
10. Николаев Г.А., Винокуров В.А. Сварные конструкции. Расчет и проектирование. - М., 1990.
11. Орлов П.И. Основы конструирования. Справочно-методическое пособие. В 2-х кн. - М.: Машиностроение, 1988.
12. Подшипниковые узлы современных машин и приборов: Энциклопедический справочник / В.Б. Носов, И.М. Карпухин, Н.Н. Федотов и др. - М.: Машиностроение, 1997.
13. Расчет деталей машин на ЭВМ /Под ред. Д.Н. Решетова, С.А. Шувалова. - М.: Высш. шк., 1985.
14. Решетов Д.Н. Детали машин. 4-е изд. - М.: Машиностроение, 1989.
15. Решетов Д.Н., Иванов А.С, Фадеев В.З. Надежность машин. - М.: Высш. шк., 1988.
16. Ряховский О.А., Иванов С.С. Справочник по муфтам. - Л.:

Политехника, 1991.

17. Автоматизированное проектирование машиностроительного гидропривода/И.И. Бажин, Ю.Г. Беренгард, М.М. Гайцгорг и др.; Под общ. ред. С.А.Ермакова. - М.: Машиностроение, 1988.

18. Герц Е.В. Динамика пневматических систем машин. - М.: Машиностроение, 1985.

19. Гидропневмоавтоматика и гидропривод мобильных машин. Объемные гидро- и пневмомашин и передачи: Учебн. пособие для вузов/ А.Ф. Андреев, Л.В. Барташевич, Н.В. Богдан и др.; Под ред. В.В. Гуськова. - Минск: Высш. шк., 1987.

20. Гренко Л.П., Исаев Ю.М. Гидродинамические и гидрообъемные передачи в трансмиссиях транспортных средств. - СПб, 2000.

21. Гидроприводы и гидропневмоавтоматика станков /В.А. Федорец, М.Н. Педченко, А.Ф. Пичко и др.; Под ред. В.А. Федорца. - Киев: Вища школа, 1987.

22. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. - М.: Энергия, 1992.

23. Техническая диагностика гидравлических приводов. / Т.В. Алексеева и др. - М.: Машиностроение, 1989.

24. Навроцкий К.Л. Теория и проектирование гидро- и пневмоприводов: Учеб. - М.: Машиностроение, 1991.

25. Объемные гидромеханические передачи: Расчет и конструирование /О.М. Бабаев, Л.Н. Игнатъев, Е.С. Кисточкин и др.; Под ред. Е.С. Кисточкина. - Л.: Машиностроение, 1987.

26. Попов Д.Н. Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем: Учеб. для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1987.

27. Проектирование гидравлических систем машин. Учеб. пособие /Г.М. Иванов, СЕ. Ермаков, Б.Л. Коробочкин и др.; Под ред. Г.М. Иванова. - М.: Машиностроение, 1992.

28. Каверзин СВ. Курсовое и дипломное проектирование по гидроприводу мобильных машин. Учеб. пособие. - Красноярск: ПИК «Офсет», 1997.

29. Задачник по гидравлике, гидромашинам и гидроприводу /Б.Б. Некрасов, И.В. Фатеев, Ю.А. Блинков и др.; Под ред. Б.Б. Некрасова. - М.: Высш. шк., 1989.

30. Свешников В.К. Станочные гидроприводы. Справочник. 3-е изд. - М.: Машиностроение, 1995.

31. Гейер В.Г., Дулин В.С., Заря А.Н. Гидравлика и гидропривод. - М.: Недра, 1991. Локвис З.В. Гидроприводы сельскохозяйственных машин. Конструирование и расчет. - М.: Агропромиздат, 1990.

32. Баранов В.Н. Электрогидравлические следящие приводы вибрационных машин. - М.: Машиностроение, 1988.

33. Аппаратура объёмных гидроприводов / Ю.А. Данилов и др. - М.: Машиностроение, 1990.

34. Справочное пособие по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам /Под ред. Б.Б. Некрасова. - Минск: Машиностроение, 1985.



35. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. - М.: Энергия, 1992.

36. Технические средства диагностирования. Справочник /В.В. Клюев, П.П. Пархоменко, В.Е. Абрамчук и др.; Под. ред. В.В.Клюева. - М.: Машиностроение, 1989.

37. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами. - Л.: Энергоиздат, 1982.

38. Борцов Ю.А., Соколовский Г.Г. Автоматизированный электропривод с упругими связями. - Л.: Энергоатомиздат, 1992.

39. Ковчин С.А., Сабинин Ю.А. Теория электропривода. - СПб.: Энергоатомиздат, 2000.

40. Сабинин Ю.А. Позиционные и следящие электромеханические системы. - СПб.: Энергоатомиздат, 2001.

41. Чиликин М.Г., Ключев В.И., Сандлер А.С. Теория автоматизированного электропривода. - М: Энергия, 1979.

Составитель программы:

Зав. кафедрой  
Технологические машины и  
Оборудование



Е.А. Сорокин

Программа соответствует паспорту номенклатуры специальностей научных работников.

И.о. директора  
Политехнического института



М.В. Первухин