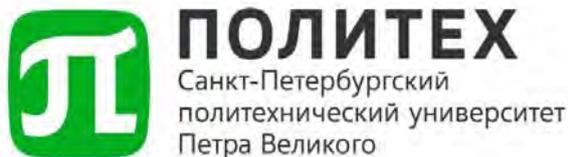


МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»



УТВЕРЖДАЮ:
Проректор по образовательной
деятельности
Е.М. Разинкина
«30» сентября 2019 г.



**ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА
СПЕЦИАЛЬНАЯ ДИСЦИПЛИНА
ПО НАПРАВЛЕНИЮ ПОДГОТОВКИ
15.06.01 – Машиностроение**

Направленности (профили):

- 1. Машиноведение, системы приводов и детали машин*
- 2. Трение и износ в машинах*
- 3. Роботы, мехатроника и робототехнические системы*
- 4. Технология и оборудование механической и физико-технической обработки*
- 5. Технология машиностроения*
- 6. Технологии и машины обработки давлением*
- 7. Сварка, родственные процессы и технологии*
- 8. Теория механизмов и машин*
- 9. Вакуумная, компрессорная техника и пневмосистемы*
- 10. Гидравлические машины и гидропневмоагрегаты*
- 11. Колесные и гусеничные машины*
- 12. Дорожные, строительные и подъемно-транспортные машины*

Директор Института
машиностроения, материалов и транспорта

А.А. Попович

И.о. директора Института
энергетики

С.Г. Зверев

г. Санкт-Петербург
2019

1. Машиноведение, системы приводов и детали машин

Введение

Данная программа разработана для поступающих в аспирантуру по профилю «Машиноведение, системы приводов и детали машин», охватывает основополагающие разделы, связанные с машиностроением и объединяющие теорию и методы: расчета, конструирования, испытаний, диагностики и мониторинга параметров деталей, узлов, механизмов и машин, в которых привод - основная структурно-функциональная составляющая машины, с источником энергии обеспечивающая приведение ее в движение, преобразуя энергию и осуществляя

1. Расчеты на прочность деталей машин; работоспособность и надежность машин

Основные этапы проектирования машин. Оптимизация конструкции. Учет технологических требований.

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

Надежность машин. Основные положения и показатели надежности. Надежность в период нормальной эксплуатации машин. Надежность восстанавливаемых изделий. Статистический контроль надежности и долговечности. Требования к деталям машин и критерии надежности. Общая характеристика расчетных методов оценки надёжности деталей машин. Вероятностные методы расчета деталей машин.

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

Трение, изнашивание и смазка деталей. Виды трения и изнашивания. Трение в условиях гидродинамической и гидростатической смазки. Износ. Способы повышения износостойкости.

2. 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. Новые материалы и перспективы их применения в машиностроении.

Стандартизация деталей машин и ее значение. Система стандартов. Использование стандартов при проектировании машин. Проектирование машин с учетом требований стандартизации. Расчет номинального давления и площади контакта с учетом параметров шероховатости, волнистости и макроотклонений.

3. Соединения деталей и узлов машин

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. Классификация резьбы. Основные типы крепежных соединений. Способы стопорения резьбовых соединений от самоотвинчивания. Материалы, применяемые для изготовления деталей резьбовых соединений. Классы прочности болтов и гаек.

Теория винтовой пары. Зависимость между моментом, приложенным к гайке, и осевой силой винта. Коэффициент полезного действия винтовой пары. Самоторможение.

Напряженные (затянутые) резьбовые соединения. 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.

Сварные соединения. Концентрация напряжений. Остаточные напряжения и деформации. Расчеты на прочность сварных соединений при постоянных и при переменных напряжениях.

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

Соединения деталей с натягом и области их применения в машиностроении. Расчетные и технологические натяги. Прочность сопрягаемых деталей. Технология сборки. Силы запрессовки и распрессовки. Соединения нагревом или охлаждением соединяемых деталей. Соединения с помощью стяжных колец и планок.

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

4. Передаточные механизмы

Назначение и классификация механических передач. Основные параметры передач: кинематические, энергетические, геометрические. Передачи трением и передачи зацеплением. Передачи с постоянным и переменным передаточным отношением. Передачи ступенчатого и бесступенчатого регулирования.

Основные сведения о **зубчатых передачах**. 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.

Контактные напряжения и контактная прочность. Расчет зубьев прямозубых, косозубых и шевронных цилиндрических передач по контактным напряжениям. Определение расчетных нагрузок. Учет перегрузок, концентрации нагрузки по длине зубьев, режима работы и срока службы, динамичности нагрузки, связанной с качеством изготовления. Силы в зацеплении. Расчетные зависимости для проектного и проверочного расчетов. Допускаемые напряжения.

Конические и планетарные зубчатые передачи. Особенности расчета на прочность.

Основные понятия и определения **червячных передач**. Общая характеристика. Область применения. Кинематика и геометрия червячных передач. Применяемые материалы.

Виды повреждений червячных передач. Критерии работоспособности.

Основы расчетов 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. Смазка червячных передач.

Общие сведения и основные характеристики **ременных передач**. Область применения. Разновидности ременных передач. Основные типы и материалы плоских и клиновых ремней. Новые типы ремней и ремни из новых материалов. Геометрия и кинематика ременных передач. Способы натяжения ремней. Усилия и напряжения в ремне. Коэффициент тяги, кривые скольжения. Коэффициенты трения между ремнем и шкивом. Расчет ременных передач по тяговой способности. Долговечность ременной передачи.

Классификация и конструкции **цепных передач**. Область применения цепных передач в машиностроении. Основные характеристики. Выбор основных параметров цепных передач. Кинематика и динамика цепных передач. Смазка и эксплуатация цепных передач.

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

Принцип работы **фрикционных передач**. Основные типы и область применения. Общие эксплуатационные характеристики. Точность передаточного отношения. Силы прижатия тел качения. Потери на трение; коэффициент полезного действия. Элементы конструкций. Материалы. Проверочный расчет передач по контактным напряжениям. Учет переменного режима нагружения. Допускаемые контактные напряжения. Определение размеров тел качения.

5. Поддерживающие и несущие детали конструкций

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. Эффективные коэффициенты концентрации напряжений. Влияние на прочность размерного фактора. Выбор запасов прочности и допускаемых напряжений. Расчет по заданной вероятности безотказной работы. Упрочнения валов поверхностной термической и химико-термической обработкой, поверхностным наклепом. Расчет валов на жесткость. Допускаемые углы наклона и прогибы.

Общие сведения о **подшипниках скольжения**. Основные типы и параметры подшипников

скольжения. Условия работы и виды разрушения подшипников скольжения. Подшипниковые материалы. 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. Системы смазки. Практический расчет подшипников, работающих в условиях смешанного трения.

Классификация **подшипников качения**. Выбор типов подшипников в зависимости от условий работы. Материалы тел качения и сепараторов. Потери на трение в подшипниках.

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

Назначение и классификация **муфт** для соединения валов.

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

Жесткие компенсирующие и подвижные муфты.

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.

Назначение **пружин**. Классификация пружин. Материалы и допускаемые напряжения. Общие понятия о винтовых пружинах кручения, тарельчатых пружинах, рессорах.

6. Экспериментальные методы и средства исследований надежности машин, их деталей, узлов и систем приводов.

Испытание деталей машин по основным критериям. Основные средства испытаний. Статистический анализ результатов испытаний.

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

Объемные **гидравлические** машины. Принципиальные схемы объемных гидроприводов, гидродинамических передач. Сравнительная оценка. Область применения систем гидроприводов.

Области применения. Индикаторные диаграммы гидромашин.

Основные элементы электрогидравлических систем. Электрогидравлические следящие приводы.

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

Системы **пневмоприводов**. Классификация и области применения

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».

Пневмогидравлические приводы. Области применения. Преимущества и недостатки по сравнению с гидравлическими и пневматическими приводами. Пневматические распределительные устройства. Распределители клапанного и золотникового типа. Цилиндрические и плоские золотники. Расчёт золотников и выбор основных размеров.

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. Принципы действия осушителей воздуха.

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

Контрольная пневматическая аппаратура. Классификация, основные конструкции.

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.

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. Высокочастотные электродвигатели.

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

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.

Вопросы к экзамену

1. Метод конечных элементов, основные понятия.
2. Надежность машин. Основные положения и показатели надежности.
3. Трение, изнашивание и смазка деталей. Виды трения и изнашивания.
4. Разновидности смазочных материалов. Виды присадок. Положительные и отрицательные моменты при применении смазочных материалов.
5. Способы подачи смазочного материала к поверхности трения. Адгезия и когезия.
6. Трение в условиях гидродинамической и гидростатической смазки.
7. Изнашивание. Износ. Способы повышения износостойкости.
8. Характеристики прочности материалов и классификация условий работы деталей машин. Критерии выбора материалов.
9. Основные способы повышения эксплуатационных свойств поверхности деталей машин: термические, химикотермические, механические, термомеханические.
10. Новые материалы и перспективы их применения в машиностроении.
11. Стандартизация деталей машин и ее значение.
12. Классификация соединений деталей и узлов машин.
13. Соединения неразъемные и разъемные. Соединения фрикционные и нефрикционные (зацеплением).
14. Резьбовые (винтовые) соединения. Классификация резьбы. Основные типы крепежных соединений.
15. Сварные соединения. Концентрация напряжений. Остаточные напряжения и деформации. Расчеты на прочность сварных соединений при постоянных и при переменных напряжениях.
16. Соединения деталей с натягом и области их применения в машиностроении.
17. Назначение и классификация механических передач. Основные параметры передач: кинематические, энергетические, геометрические.
18. Основные сведения о зубчатых передачах. Классификация. Области применения. Стандартные параметры зубчатых передач.
19. Принцип работы фрикционных передач. Основные типы и область применения.
20. Общие сведения о подшипниках скольжения. Основные типы и параметры подшипников скольжения.
21. Условия работы и виды разрушения подшипников скольжения. Подшипниковые материалы. Режимы трения и критерии расчета.
22. Режимы трения и критерии расчета. Основы теории жидкостного трения. Распределение давления в смазочном слое.
23. Подвод смазки в подшипниках. Системы смазки. Практический расчет подшипников, работающих в условиях смешанного трения.
24. Классификация подшипников качения. Выбор типов подшипников в зависимости от условий работы. Материалы тел качения и сепараторов. Потери на трение в подшипниках.
25. Назначение и классификация муфт для соединения валов.
26. Назначение пружин. Классификация пружин. Материалы и допускаемые напряжения. Общие понятия о винтовых пружинах кручения, тарельчатых пружинах, рессорах.
27. Экспериментальные методы и средства исследований надежности машин, их деталей, узлов и систем приводов.

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

Рекомендуемая литература

1. Подураев Ю.В. Мехатроника: Основы, методы, применение: учеб. пособие для студентов вузов. — М.: Машиностроение, 2006 г. — 256 с.
2. Иванов М.Н., Финогенов В.А. Детали машин. Учебник для машиностроительных специальностей вузов.— М.: Высш.шк., 2005. — 408 с.
3. Проников А.С. Параметрическая надёжность машин. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2002. — 560 с.
4. Проников А.С. Надёжность машин. М.: Машиностроение, 1978.
5. Грянко Л.П., Исаев Ю.М. Гидродинамические и гидрообъемные передачи в трансмиссиях транспортных средств. — СПб, 2000. — 268 с.
6. Сабинин Ю.А. Позиционные и следящие электромеханические системы. — СПб.: Энергоатомиздат, 2001. — 309 с.
7. Ковчин, С.А. Теория электропривода : Учеб. для вузов / С.А. Ковчин, Ю.А. Сабинин. — СПб : Энергоатомиздат, 2000 .— 496с.
8. Конструирование узлов и деталей машин/Дунаев П.Ф.,Леликов О.П.-М.,Академия, 2009
9. Елисеев В. В. Механика деформируемого твердого тела. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2006.
10. Лазарев С.О., Полонский В.Л. Вычислительная механика. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2002.
11. Трение, износ и смазка. (трибология и триботехника). Под ред А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 2008.- 576 с.

2. Трение и износ в машинах

Введение

Данная программа, разработанная кафедрой «Машиноведение и основы конструирования» Санкт-Петербургского государственного политехнического университета для поступающих в аспирантуру по профилю «Трение и износ в машинах», охватывает основополагающие разделы, связанные с машиностроением и базируется на следующих разделах: основные понятия, термины и история развития трибологии; механические и физико-химические свойства поверхностей; геометрические характеристики поверхностей и их контактное взаимодействие; трение и изнашивание твердых тел, смазка; тепловые процессы при трении, изнашивании и смазке; моделирование процессов трения, изнашивания и смазки; триботехнические материалы и триботехнологии; смазочные материалы; методы и средства испытания на трение и износ; принципы конструирования узлов трения и экологические и экономические аспекты трибологии.

1. Общие сведения о механических и физико-химических свойствах материалов и их поверхностей.

Основы теории твердого тела. Понятие о диаграммах состояния. Силы связей в твердых телах. Изменение свойств твердых тел в зависимости от температуры.

Упругие свойства кристаллов. Модули упругости и упругие постоянные. Теоретическая и реальная прочность кристаллов. Дефекты в кристаллах.

Механические свойства материалов. Свойства при динамическом нагружении. Пластическая деформация, упрочнение при пластическом деформировании. Сверхпластичность металлов.

Виды разрушения. Механизмы зарождения трещин. Вязкое, хрупкое разрушение. Явление несовершенной упругости. Упругий гистерезис и последствие. Эффект Баушингера. Релаксация напряжений. Ползучесть, усталость.

Диффузия в твердых телах. Законы диффузии.

Поверхность твердых тел. Особенности строения и состава поверхностных слоев. Поверхностная энергия.

Сорбционные процессы. Физическая адсорбция и хемосорбция. Адсорбционное облегчение деформации. Адгезия и когезия. Виды адгезионного взаимодействия. Пленки на поверхностях твердых тел и механизмы их образования.

Неметаллические материалы. Особенности структуры и свойств полимеров. Композиционные материалы.

2. Геометрические характеристики поверхностей и контактное взаимодействие твердых тел.

Геометрические характеристики поверхностей твердых тел

Общие представления о реальной топографии поверхностей трения. Методы описание поверхностей твердых тел. Виды неровностей поверхностей деталей машин. Характеристики микрогеометрии поверхностей. Методы измерения микрогеометрии.

Контактное взаимодействие твердых тел

Механика контактного взаимодействия твердых тел. Контактная задача Герца. Эпюры распределения напряжений. Контакт упругих тел при наличии трения. Контакт тел за пределами упругости.

Дискретность контакта. Микро- и макро-масштабный уровень рассмотрения характеристик дискретного контакта. Номинальная, контурная и фактическая площади касания. Сближение поверхностей под нагрузкой. Понятие о ненасыщенном и насыщенном контакте. Механика контактного взаимодействия твердых тел с шероховатыми поверхностями.

Методы расчета фактической площади касания. Соотношения между фактическими площадями контакта и сближением контактирующих тел в неподвижном состоянии и при скольжении. Экспериментальные способы определения фактических площадей касания и сближений. Расчет номинального давления и площади контакта с учетом параметров шероховатости, волнистости и макроотклонений.

3. Трение твердых тел

Внешнее трение. Основные положения и развитие теории внешнего трения. Виды фрикционного взаимодействия. Трение скольжения, качения и верчения. Трение покоя. Механизмы диссипации энергии при фрикционном взаимодействии.

Силы и коэффициенты внешнего трения. Определение сил и коэффициентов внешнего трения при упругих и пластических деформациях в зоне контакта микронеровностей. Зависимости коэффициента внешнего трения от вида контакта, нагрузки, температуры, скорости скольжения, свойств материалов пары трения.

Динамические процессы при трении. Динамические процессы при скольжении твердых тел без смазочного материала. Влияние внешних вибраций на процесс трения. Фрикционные автоколебания. Устойчивость скольжения при трении твердых тел.

Трение качения и трение верчения. Природа трения качения. Качение упругих тел. Сцепление и проскальзывание при качении. Зависимость между тангенциальной силой и относительным проскальзыванием. Распределение нормальных и тангенциальных напряжений. Влияние тангенциального усилия в контакте на границы упругого и пластического поведения материала (диаграмма приспособляемости материала).

Качение тел, обладающих свойствами релаксации и последействия. Особенности свободного качения, с тормозным и тяговым моментом. Опоры качения. Контактная прочность. Долговечность опор качения.

4. Изнашивание твердых тел

Классификация видов изнашивания. Количественные характеристики изнашивания. Износостойкость и классы износостойкости. Основные закономерности изнашивания. Модели и кинетика разрушения фрикционного контакта. Влияние различных факторов на износостойкость. Изменение вида разрушения поверхностей при трении в зависимости от режимов работы (приработка, установившийся и форсированный режимы). Особенности изнашивания полимерных материалов.

Характеристика основных видов изнашивания: абразивное, гидроабразивное, кавитационное, усталостное, окислительное, при схватывании (заедании), при фреттинге, электроэрозионное, водородное, при избирательном переносе. Методы повышения износостойкости узлов трения.

Основы расчета узлов трения на износ. Расчет формоизменения сопряженных тел при изнашивании.

5. Смазка. Смазочные материалы

Виды смазки. Классификация видов смазки (смазочного действия). Основные признаки, характеризующие виды смазки.

Жидкостная смазка. Виды жидкостной смазки: гидродинамическая, гидростатическая, гидростатодинамическая, эластогидродинамическая.

Гидродинамическая смазка. Основные уравнения теории гидродинамической смазки. Уравнение Рейнольдса и граничные условия. Уравнения переноса теплоты. Изотермическая и неизотермическая задач теории гидродинамической смазки.

Расчет стационарно-нагруженных подшипников скольжения. Несущая способность, потери на трение в смазочном слое. Тепловой баланс. Нестационарно-нагруженные подшипники скольжения. Система уравнений движения вала, течения смазочного материала, переноса теплоты. Критерии оценки работоспособности подшипников скольжения. Гидродинамическая неустойчивость высокоскоростных подшипников скольжения.

Эластогидродинамическая смазка. Уравнения течения смазки и упругости. Зависимость вязкости смазочного материала от температуры и давления. Толщина смазочного слоя. Газовая смазка.

Граничная смазка. Граничная смазка. Природа и строение граничных слоев. Изнашивание при граничной смазке. Подход к подбору смазочных материалов по критерию предельной температуры. Специфические методы организации граничной смазки: избирательный перенос (эффект безызносности), эффект трибополимеризации.

Классификации смазочных материалов: по агрегатному состоянию, происхождению, способу получения, назначению. Жидкие смазочные материалы. Состав, эксплуатационные свойства и ассортимент масел. Базовые масла. Функциональные присадки, антифрикционные добавки к маслам.

Пластичные смазочные материалы. Состав, эксплуатационные свойства и ассортимент пластичных смазок. Твердые смазочные материалы.

Трение, износ, смазка в экстремальных условиях. Трение, износ и смазка в экстремальных условиях. Влияние низких и высоких температур при трении. Воздействие радиации, вакуума, газовой среды, электромагнитных полей. Трибологические проблемы в космосе. Трение, сопровождаемое токообразованием.

6. Тепловые процессы при трении, изнашивании и смазке.

Тепловые задачи при трении и изнашивании твердых тел. Общая постановка задачи теплопроводности при трении. Три основных режима трения: стационарный, нестационарный, квазистационарный. Влияние температуры на трибологические характеристики пар трения.

Расчет температур при стационарном режиме трения. Определение поля температур, средней температуры поверхности трения и температурной вспышки при нестационарном режиме трения. Коэффициент распределения тепловых потоков. Расчет объемной температуры при повторно-кратковременном режиме трения.

Тепловая динамика трения и износа твердых тел. Определение интенсивности изнашивания при трении с учетом тепловых процессов.

7. Моделирование процессов трения, изнашивания и смазки

Физическое моделирование процессов трения, изнашивания и смазки. Трибологические системы. Виды подобия в трибосистемах. Метод анализа размерностей и его использование при моделировании процессов трения и изнашивания.

Сложные трибосистемы. Методология и математическое моделирование сложных трибосистем.

8. Триботехнические материалы и триботехнологии

Триботехнические конструкционные материалы. Совместимость трибосистем. Выбор конструкционных материалов трибосистем с учетом их совместимости. Понятие о самоорганизации трибосистем. Принципы создания новых материалов на основе структурной приспособляемости и самоорганизации трибосистем.

Металлические материалы для узлов трения различного назначения. Рекомендуемые области использования антифрикционных сплавов. Порошковые, керамические композиционные материалы для антифрикционных и фрикционных узлов трения.

Полимерные и металлополимерные композиционные материалы для подшипников, опор скольжения, тормозов в муфт сцепления.

Триботехнологии. Виды износостойких покрытий и упрочнения поверхностных слоев. Наплавка износостойких слоев. Напыление износостойких покрытий из порошковых материалов. Лазерное упрочнение. Упрочнение ионно-плазменной обработкой. Диффузионные покрытия. Механо-термическое формирование износостойких покрытий. Электрохимические покрытия.

9. Методы и средства испытаний на трение и износ.

Трибометрия и трибодиагностика. Цикл триботехнических испытаний. Испытательная техника для трибологических испытаний и исследований пар трения. Особенности триботехнических испытаний смазочных материалов. Планирование экспериментов при оценке трения и износа.

10. Принципы конструирования узлов трения различного назначения. Экологические и экономические аспекты трибологии

Основы проектирования, подбора материалов и конструктивного оформления узлов трения. Принцип геометрической оптимизации трибосистем. Выбор рационального нагружения элементов пар трения. Обеспечение необходимого режима смазки узлов трения с разными видами смазочных материалов. Тепловые режимы в технических системах. Оценка вероятности безотказной работы и прогнозирование ресурса узлов трения.

Трибологические источники загрязнений окружающей среды. Направление работ по улучшению экологических и экономических показателей работы машин. Методики оценки экономической эффективности и экологической чистоты технических систем.

Вопросы к экзамену

1. Поверхность твердых тел. Особенности строения и состава поверхностных слоев. Поверхностная энергия
2. Адгезия и когезия. Виды адгезионного взаимодействия. Пленки на поверхностях твердых тел и механизмы их образования.
3. Неметаллические материалы. Особенности структуры и свойств полимеров. Композиционные материалы.
4. Виды неровностей поверхностей деталей машин. Характеристики микрогеометрии поверхностей. Методы измерения микрогеометрии.
5. Механика контактного взаимодействия твердых тел. Контактная задача Герца. Эпюры распределения напряжений.
6. Расчет номинального давления и площади контакта с учетом параметров шероховатости, волнистости и макроотклонений.
7. Основные положения и развитие теории внешнего трения. Виды фрикционного взаимодействия. Трение скольжения и качения. Трение покоя.
8. Определение сил и коэффициентов внешнего трения при упругих и пластических деформациях в зоне контакта микронеровностей.
9. Зависимости коэффициента внешнего трения от вида контакта, нагрузки, температуры, скорости скольжения, свойств материалов пары трения.
10. Классификация видов изнашивания. Количественные характеристики изнашивания. Износостойкость.
11. Основные закономерности изнашивания. Модели и кинетика разрушения фрикционного контакта.
12. Влияние различных факторов на износостойкость.
13. Характеристика основных видов изнашивания: абразивное, гидроабразивное, кавитационное, усталостное, окислительное.
14. Характеристика основных видов изнашивания: при схватывании (заедании), при фреттинге, электроэрозионное, водородное, при избирательном переносе.
15. Основы расчета узлов трения на износ. Расчет формоизменения сопряженных тел при изнашивании.
16. Виды смазки. Классификация видов смазки (смазочного действия). Основные признаки, характеризующие виды смазки.
17. Физическое моделирование процессов трения, изнашивания и смазки. Трибологические системы.
18. Выбор конструкционных материалов трибосистем с учетом их совместимости. Понятие о самоорганизации трибосистем. Принципы создания новых материалов на основе структурной приспособляемости и самоорганизации трибосистем.
19. Металлические материалы для узлов трения различного назначения. Рекомендуемые области использования антифрикционных сплавов.
20. Порошковые, керамические композиционные материалы для антифрикционных и фрикционных узлов трения.
21. Полимерные и металлополимерные композиционные материалы для подшипников, опор скольжения, тормозов в муфт сцепления.
22. Триботехнологии. Виды износостойких покрытий и упрочнения поверхностных слоев. Наплавка износостойких слоев. Напыление износостойких покрытий из порошковых материалов. Диффузионные покрытия.
23. Триботехнологии. Лазерное упрочнение. Упрочнение ионно-плазменной обработкой. Механотермическое формирование износостойких покрытий. Электрохимические покрытия
24. Трибометрия и трибодиагностика. Испытательная техника для трибологических испытаний и исследований пар трения. Особенности триботехнических испытаний смазочных материалов.
25. Основы проектирования, подбора материалов и конструктивного оформления узлов трения. Принцип геометрической оптимизации трибосистем.
26. Выбор рационального нагружения элементов пар трения. Обеспечение необходимого режима смазки узлов трения с разными видами смазочных материалов.

Рекомендуемая литература

1. Основы трибологии. / Э.Д. Браун, Н.А. Буше, И.А. Буяновский и др. / Под. ред. А.В. Чичинадзе, Учебник для технических вузов. 2-е изд. - М.: машиностроение, 2001. - 778с.
2. Советов Б.Я. Моделирование систем : Учеб. для вузов / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. - 3-е изд., перераб. и доп. - М. : Высш. шк., 2001. - 342с.
3. Куксенова Л.И., Лаптева В.Г., Колмаков А.Г., Рыбаков Л.М. Методы испытаний на трение и износ; Москва 2001-152
4. Горленко О.А. Контроль, испытания и диагностика узлов трения : учеб. пособие для вузов / О. А. Горленко, Д. А. Суслов, Д. Б. Колмогорцев ; Брян. гос. техн. ун-т. - Брянск : БГТУ, 2005. - 107 с.
5. Гаркунов Д.Н. Триботехника (износ и безызносность). Учебник. М., МСХА, 2001. – 616 с.
6. Дунаев П.Ф., Леликов О.П. Конструирование узлов и деталей машин. М.: ACADEMIA, 2003. – с. 496.
7. Основы трибологии / Э.Д.Браун, Н.А.Буше, И.А.Буяновский и др. /Под ред. А.В.Чичинадзе. - М.: Машиностроение, 2001. - 778с.
8. .Н. Вернигорова, Н.И. Макридин; И.Н. Максимова Физико-химические основы строительного материаловедения; 2003-136с.
9. Трение и модифицирование материалов трибосистем. /Ю.К.Машков, К.Н.Полешко. С.Н. Поворознюк, П.В.Орлов / Под ред. Ю.К.Машкова. - М.: Наука, 2000. - 280с.
10. Шпеньков Г.П. Физикохимия трения. - Минск: Изд. Университет, 1991. - 230с.
11. Буяновский И.А., Фукс И.Г.; Шабалина Т.Н. Граничная смазка: этапы развития трибологии.; Москва 2002. -230 с.
12. Л.И. Погодаев. Повышение надежности трибосопряжений: Материалы. Пары трения ДВС. Смазочные композиции. 2001. П. Акад.трансп. 304с.

3. Роботы, мехатроника и робототехнические системы

Введение

Данная программа, разработанная кафедрой «Автоматы» Санкт-Петербургского государственного технического университета для поступающих в аспирантуру по профилю «Роботы, мехатроника и робототехнические системы», охватывает основополагающие разделы теоретической механики, теории механизмов и машин, теории автоматического управления с целью подготовки базы для выполнения силовых расчетов, исследования кинематики, динамики манипуляционных и транспортных роботов, мехатронных устройств различного назначения, систем и агрегатов, измерительно-информационных, исполнительных, управляющих, вычислительных подсистем, построения их математических моделей и исследования на них, экспериментального исследования роботов и робототехнических систем и мехатронике, проектирования механизмов и модулей роботов, мехатронных и робототехнических систем.

1. Основы механики и теории автоматического управления

Механическая система. Постановка и решение задач статики, кинематики и динамики систем тел при наличии связей. Степени свободы и обобщенные координаты. Составление выражений для кинетической и потенциальной энергии. Уравнения Лагранжа второго рода. Прямая и обратная задачи динамики. Типовые механизмы, их назначение и задачи их расчета. Кинематика механизмов, расчет распределений скоростей и ускорений. Расчеты деформаций звеньев механизмов. Колебания механизмов, расчет собственных частот и форм свободных колебаний. Расчет режимов вынужденных колебаний. Программные движения систем. Линеаризация уравнений динамики. Приводы и их типовые характеристики, методы управления приводами. Достоинства и недостатки пневмо-, гидро и электроприводов. Механическая система, как объект управления. Структуры систем автоматического управления механическими системами. Учет ограничений по кинематическим параметрам, силам и моментам.

2. Основы мехатроники

Краткая история становления мехатроники. Синтез наук в мехатронике (электроники, механики, компьютерных технологий). Предпосылки появления робототехники и мехатроники и ключевые факторы развития. Основные понятия, термины и определения, стандартизация в робототехнике. Принцип синергетической интеграции элементов робототехнических и мехатронных систем. Примеры мехатронных модулей и подсистем, их назначение, классификация, типовые кинематические схемы, особенности компоновочных решений и конструкций. Прецизионные механические системы в мехатронике; особенности конструкции и компоновки. Мехатронные устройства в микросистемном исполнении. Обобщенная структура типовой мехатронной системы. Принцип программно-аппаратной интеграции в реализации мехатронной системы. Социальное и экономическое значение достижений мехатроники.

3. Основы робототехники

Основные этапы развития робототехники. Функциональное назначение и классификация роботов по областям применения. Промышленные роботы, вспомогательные и технологические роботы. Основные операции, выполняемые технологическими роботами: сварка (шовная и точечная), окрашивание, сборка, механообработка, контроль и измерения. Типовые конструкции отечественных и зарубежных манипуляционных промышленных роботов. Классификация промышленных роботов по типу кинематической схемы. Переносные и ориентирующие степени свободы. Роботы для экстремальных условий: для выполнения операций под водой, в космическом пространстве, при ликвидации последствий аварий и т.д. Мобильные роботы и телеоператоры. Транспортные роботы на колесных и гусеничных шасси. Шагающие роботы, экзоскелетоны. Роботы, перемещающиеся по наклонным, вертикальным и произвольно ориентированным в пространстве поверхностям при различных принципах удерживания. Обобщенная функциональная схема, элементы и подсистемы роботов: манипуляторы; захватные устройства; рабочий инструмент; силовые агрегаты; механизмы разгрузки; системы осязательства; управляющие устройства; средства передвижения. Демонстрационные роботы и особенности требований к ним.

4. Робототехнические системы и комплексы

Понятие робототехнической системы (РТС) и качественные особенности. Типовая структура и подсистемы РТС. Робототехника в современном автоматизированном производстве. Организация робототехнологических ячеек, участков и гибких производственных систем. Требования к

технологическому процессу и конструкции изделий, обусловленные спецификой сопряжения с роботами. Принципы построения информационно-измерительной структуры компьютеризированного производства, при создании и использовании РТС. Применение РТС в непромышленной сфере для выполнения сложных манипуляционных операций в недетерминированных условиях. Проблемы связанного управления многокомпонентными системами при необходимости координации движений. Мини- и микроробототехнические системы и комплексы, последние достижения в этой области. Особенности и сферы применения в настоящее время и в перспективе.

5. Математические модели роботов, манипуляционных механизмов и мехатронных систем

Типовые системы координат, согласование систем координат с кинематическими схемами роботов, однородные координаты. Методы решения задачи о положении звеньев манипулятора; прямая и обратная задачи геометрии и кинематики манипулятора. Определение обобщенных координат, скоростей и ускорений звеньев манипулятора и рабочих органов. Особенности решения обратной задачи кинематики для механизмов со структурной избыточностью. Уравнения кинестатики манипуляционного механизма. Уравнения динамики манипулятора в матричной форме. Компьютерное составление уравнений динамики. Методы математического моделирования уравнений динамики манипуляционного механизма. Решение первой (обратной) и второй (прямой) задач динамики для манипулятора. Уравнения движения мобильного робота на колесных шасси. Кинематика и динамика колесных роботов, как механических систем с неголономными связями. Модели движения с колесных роботов учетом проскальзывания. Методы задания микроперемещений и управления микроперемещениями. Особенности динамики мини- и микроробототехнических и мехатронных устройств и систем. Моделирование динамики при использовании компьютерного пакета Simulink.

6. Исполнительные подсистемы в робототехнике и мехатронике

Классификация приводов, используемых в робототехнике и мехатронике. Электромеханические приводы постоянного тока. Приводы с бесконтактными двигателями постоянного тока. Приводы переменного тока. Приводы на базе шаговых двигателей. Высокомоментные безредукторные приводы. Использование линейных двигателей и многофазных магнитов. Электрогидравлические и электропневматические приводы в робототехнике и мехатронике. Струйные системы управления пневматическими приводами. Энергетический расчет силовых агрегатов и принципы выбора их элементов. Математическая модель исполнительной системы. Методы регулировочного расчета приводов. Принцип подчиненного регулирования. Влияние нелинейных факторов на работу исполнительной системы. Методика расчета и автоматизированного проектирования исполнительных систем. Электронные силовые подсистемы в мехатронике: принципы построения, основные характеристики и области применения. Особенности расчета и программно-аппаратной реализации исполнительных систем в мехатронике.

7. Информационно-сенсорные системы в робототехнике и мехатронике

Типы и виды информационных устройств систем, применяемых в робототехнике и мехатронике. Датчики внешней и внутренней информации. Датчики ближнего и дальнего действия, кинестетические датчики. Датчики положения, скорости, ускорения, сил и моментов, тактильные датчики. Применение лазерных и ультразвуковых дальномеров. Системы технического зрения; их структура, аппаратные средства. Предварительная обработка информации. Применение методов искусственного интеллекта в задаче распознавания объектов и анализа рабочей сцены. Системы силомоментного осязания; конструкции датчиков; способы обработки сигналов. Способы получения интегральной оценки рабочей сцены с использованием датчиков различной модальности. Взаимодействие информационно-сенсорной и управляющей систем робота или мехатронного агрегата.

8. Автоматическое управление манипуляционными механизмами и мехатронными системами

Принцип кинематического управления манипулятором (по положению, по вектору скорости, по вектору силы). Полуавтоматическое, командное и копирующее управление, Методы динамического управления манипуляторами. Системы управления манипуляторами двустороннего действия (обратимые и необратимые, симметричные и несимметричные системы); методы анализа и синтеза таких систем. Оптимальное управление манипуляторами, критерии оптимизации; ограничения. Методы адаптивного управления роботами. Принципы обучения автоматических манипуляторов. Управление мобильными роботами; методы кинематического и динамического управления подвижной платформой. Управление робокаром. Управление мобильным роботом в

условиях неопределенности на основе нечеткой логики. Методика кинематического и динамического расчета механических прецизионных подсистем мехатронных модулей. Методика их точностного и силового расчетов; методы оптимизации движения механических подсистем. Системный подход при проектировании мехатронных систем; методы автоматизированного моделирования и проектирования. Современные методы интеллектуального управления мехатронными системами. Нейросетевое управление мехатронными системами.

9. Управление робототехническими системами

Требования к управлению робототехническими системами. Постановка задачи управления робототехнической системой. Понятие мультиагентной системы. Математический аппарат теории распределенных систем управления. Конечные автоматы. Математическое описание робототехнологического комплекса как сети конечных автоматов. Представление технологического задания в виде сети Петри. Понятие об управляющей структуре. Методы синтеза управляющих структур. Способы реализации локальных управляющих сетей, включающих роботы и автоматизированное технологическое оборудование. Взаимодействие системы управления робототехнологического комплекса с системой управления современного компьютеризированного производства. Системы автоматизированного проектирования роботизированных технологических комплексов. Применение робототехнических систем в непромышленной сфере. Микроробототехнические системы: методы исследования, проектирования и оптимизации. Особенности управления мехатронными системами. Применение методов искусственного интеллекта для управления робототехническими системами. Принципы диалогового и супервизорного управления и их применение в робототехнике.

10. Вычислительные средства робототехнических и мехатронных систем

Принцип микропроцессорного управления. Структура и состав микропроцессорной системы для обработки информации и управления в РТС. Типовые схемы и способы программирования микропроцессоров. Архитектура микроконтроллера, работающего в реальном масштабе времени; особенности программного обеспечения. Организация интерфейса с оборудованием. Принципы построения мультипроцессорной системы управления роботами и робототехническими системами. Типы управляющих устройств, применяемых для управления промышленными роботами и робототехнологическими комплексами. Аппаратные средства реализации информационно-сенсорных систем, включая системы технического зрения. Использование универсальных компьютеров и рабочих станций для управления роботами и их программирования в режиме «off-line». Компьютерные управляющие подсистемы в мехатронике; принципы построения и архитектура аппаратной части.

Вопросы к экзамену:

1. Мехатронные принципы построения автоматических систем. Классификация мехатронных объектов. Роль мехатроники в автоматизации производственных процессов.
2. Структурная схема системы автоматического управления (САУ): состав, назначение и характеристики основных элементов. Показатели качества САУ.
3. Силомоментное очувствление. Назначение, области применения в робототехнике. Бесконтактные магнитоупругие датчики. Тензометрические балки.
4. Принципы нечеткой логики при построении систем автоматического управления роботами, робототехническими комплексами и мехатронными системами. Примеры систем управления с использованием нечеткой логики.
5. Прямая и обратная задачи управления в робототехнике. Примеры для случаев с последовательной и параллельной кинематикой.
6. Переход от исходной постановки задач манипулирования к формализованной постановке программирования траекторий в базовой системе координат и законов движения при задании ограничений на параметры движения.
7. Экстремальная робототехника. Особенности конструкций и элементов подсистем роботов, предназначенных для работы в космосе, под водой, в агрессивных средах и пр.
8. Использование средств технического зрения в робототехнике. Размещение камер и управление ими.

9. Задача выбора типа кинематических пар и числа степеней свободы манипуляторов в зависимости от назначения (обслуживание станков и другого оборудования, точечная и шовная сварка, окраска и нанесение покрытий, механообработка).

10. Роботизированные технологические комплексы. Области использования, примеры, основные характеристики. Состав типового роботизированного комплекса.

11. Уравнения Лагранжа второго рода для механизмов манипуляторов роботов при исследовании их динамики. Структура этих уравнений. Идеализированный случай независимости уравнений по обобщенным координатам. Наличие перекрестных связей и их влияние на динамику.

12. Рабочие органы промышленных роботов. Технологические рабочие органы роботов для нанесения покрытия, механообработки и пр., требования к ним. Захватные устройства зажимного типа, вакуумные, электромагнитные и пр.

13. Принципы искусственного интеллекта. Структура и особенности нейросетевых структур и их применение в мехатронике и робототехнике. Сравнение с традиционными способами автоматического управления.

14. Задача выбора числа степеней свободы манипулятора робота, исходя из требований к выполняемым технологическим операциям. Механизмы манипуляторов последовательной и параллельной структур, их достоинства и недостатки.

15. Закон Мура в микроэлектронике. Мини- и микроробототехнические робототехнические комплексы и системы. Особенности основных элементов и требований к их автоматическому управлению.

16. Составление и решение уравнений динамики колебательных движений механизмов манипуляторов роботов.

17. Варианты компоновки и конструктивного выполнения мехатронных модулей и их основных составных частей в зависимости от их назначения и основных технических требований.

18. Характеристики датчиков. Функция преобразования, разрешающая способность, чувствительность, погрешность датчиков. Датчики положения, скоростей и ускорений. Варианты форм их выходных сигналов и возможности обработки в аналоговой и цифровой формах.

19. Силовые расчеты механизмов манипуляторов. Определение показателей жесткости и деформаций при выполнении рабочими органами силовых операций.

20. Основные виды структур в LabVIEW. Основные типы данных в LabVIEW и их характеристики. Основные характеристики виртуального прибора.

21. Структура и варианты компоновки мехатронных модулей и распределение требований к точности и надежности между их основными функциональными элементами в зависимости от их назначения и основных технических требований.

22. Технические средства для экспериментального определения показателей точности манипуляционных роботов в режимах отработки программных траекторий и позиционирования в заданных точках. Нормирование показателей точности.

23. Сравнительный анализ преимуществ и недостатков электромеханических приводов, пневмоприводов и гидроприводов в зависимости от задач применения. Влияние ограничений по скоростям и силам (моментам) при исследовании динамики манипуляторов.

24. Геометрические и кинематические соотношения, используемые при описании и решении задач пространственного углового ориентирования переносимых объектов манипуляторами роботов.

25. Схемные и конструктивные решения транспортных роботов при различных видах несущих шасси: колесных, гусеничных, шагающих (многоногих) и пр. Их достоинства и недостатки. Способы и схемы управления их движением.

26. Программирование движений многозвенных манипуляторов при позиционном и контурном автоматическом управлении. Критерии быстродействия и точности выполнения движений.

27. Метрологические характеристики датчиков, используемых в мехатронике и робототехнике. Датчики линейных перемещений, углов и угловых скоростей. Диапазоны, погрешности, стабильность

28. Классификация и характеристика технологий поиска новых инженерных решений. Мозговой штурм, морфологический анализ и надежность.
29. Геометрия и кинематика манипуляторов, виды и сравнительные характеристики рабочей зоны и рабочего пространства.
30. Особенности математического моделирования динамики роботов в среде MATLAB. Методика моделирования в среде Simulink.

Рекомендуемая литература

1. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин. М.: Наука, 1988.
2. Юревич Е.И. Основы робототехники. 2-е изд. СПб: bhv. 2005.
3. Зенкевич С.Л., Ющенко А.С. Управление роботами. М.: Изд-во МГТУ, 2000.
4. Попов Е.П., Письменный Г.В. Основы робототехники. М.: Высш. шк., 1990.
5. Бурдаков С.Ф., Дьяченко В.А., Тимофеев А.Н. Проектирование манипуляторов промышленных роботов и роботизированных комплексов. М.: Высш. шк., 1986.
6. Корендясев А.И., Саламандра Б.Л., Тывес С.Л. Теоретические основы робототехники. Кн. 1 и 2. Наука, 2006.
7. Механика промышленных роботов. В 3 кн. /Под ред. К.В. Фролова Е.И. Воробьева. М.: Высш. шк., 1988.
8. Черноусько Ф.Л., Болотник Н.Н., Градецкий В.Г. Манипуляционные роботы. Динамика, управление, оптимизация. М.: Наука, 1989.
9. Челпанов И.Б. Устройство промышленных роботов. 2-е изд. СПб: Политехника, 2003.

4. Технология и оборудование механической и физико-технической обработки

Введение

В основу данной программы положены следующие дисциплины: металлорежущие станки; расчет и конструирование станков; резание материалов; режущие инструменты; специализированные станки, автоматы и станочные комплексы; программное управление процессами и системами; теория, технология и оборудование обработки металлов резанием; автоматизированный электропривод; динамика технологических систем; надежность и диагностика металлорежущих станков; гидропривод; гидропневмоавтоматика; САПР режущего инструмента; высокопроизводительные

1. Значение механических и физико-технических методов обработки в современном машиностроении

Содержание специальности, проблемы стоящие перед технологией и оборудованием современного машиностроения. Основные задачи, решаемые механическими, и физико-техническими методами, их удельный вес в общей трудоемкости изделий в машиностроении и направления развития.

Значение станков для производства машин. Основные направления развития и важнейшие достижения станкостроения и инструментальной промышленности по показателям технического уровня.

2. Обработка резанием

Основные понятия процесса резания, его физические основы. Механика процесса резания, схемы стружкообразования. Методы и средства экспериментального исследования процесса резания.

Колебания при резании, их виды и принципы возникновения. Инструментальные материалы, их виды и области применения. Виды износа, критерии смены инструмента и способы повышения его стойкости.

Понятие о стойкости инструмента.

Технологические критерии затупления и понятие размерного износа различных видов инструмента.

Физические основы изнашивания инструмента. Обрабатываемость конструкционных материалов резанием.

Основные методы (схемы) обработки.

3. Режущий инструмент

Роль и значение режущих инструментов в металлообработке.

Типовые задачи и этапы проектирования режущих инструментов. Способы проектирования. Функционально-структурная модель режущего инструмента.

Особенности проектирования режущих инструментов для различных видов обработки. Методы крепления и базирования.

Базирование и крепление режущих элементов сборных инструментов. Стандартизация и сертификация режущих инструментов.

Настройка инструмента на размер на станке и вне станка. Методы автоматической коррекции положения режущего инструмента

Инструменты для физико-технической обработки.

4. Интенсификация процессов механической обработки

Основные направления создания высокопроизводительных процессов резания. Физические особенности и технологические показатели скоростного и силового резания, тонкого точения и растачивания, типовые конструкции инструмента, области применения.

Резание в специальных технологических средах, с опережающим пластическим деформированием (ОПЛ), нагревом (терморезание), электромеханические методы лезвийного резания и химико-механические методы абразивной обработки. Перспективы развития комбинированных методов обработки резанием.

5. Физико-технические методы обработки

Понятие физико-химической обработки как метода изготовления детали. Классификация существующих методов физико-химической обработки и теоретические предпосылки создания прин-

ципиально новых на основе использования совокупности известных физических, химических и других явлений.

6. Типы металлорежущих станков и их классификация

Классификация станков по технологическому назначению, точности, степени автоматизации, типажи и каталоги металлорежущих станков.

7. Кинематика станков

Образование поверхностей на обрабатываемых деталях.

Классификация движений в станках.

8. Технологические основы обработки на металлорежущих станках различных типов

Технология и физико-химические процессы удаления части начального объема материала заготовки при механической обработке, электромеханической, электроэрозионной и лазерной обработке и других методах формирования деталей.

Технологическая подготовка проектирования станков. Формирование требований к станку на основе анализа параметров обрабатываемых деталей.

9. Основные этапы проектирования и расчетов станочного оборудования

Надежность станков. Общие понятия. Надежность параметрическая и функциональная. Надежность в период нормальной эксплуатации и износных отказов.

Формирование компоновочного решения и несущей системы станков. Определение конструктивных параметров.

Статические упругие перемещения и их влияние на точность станков.

Динамическая система станка. Характеристики ее основных элементов (упругой системы, процесса резания, процесса трения, процессов в двигателях).

Устойчивость движений рабочих органов станка и методы ее обеспечения.

Имитационное моделирование как средство количественного анализа технологических систем.

Использование систем Internet и Intranet при проектировании станков.

10. Основные системы станка и их проектирование и расчет

Принципы конструирования мехатронных узлов. Основные преимущества их использования в станках.

Направляющие прямолинейного и кругового движения. Конструирование и расчет коробок скоростей и подач.

Механизмы для осуществления прямолинейных движений, их виды, конструирование и расчет механизмов: винт-гайки скольжения и качения, зубчато-реечного, червячно-реечного и др.

Механизмы для осуществления периодических движений. Механизмы для микроперемещений.

Механизмы подачи. Механизмы фиксации. Механизмы автоматической смены инструментов. Магазины инструментов и заготовок (компоновки).

11. Электрооборудование станков

Типы быстродействующих двигателей, высокомоментные двигатели постоянного тока с постоянными магнитами, их достоинства; двигатели для вентильного привода; шаговые двигатели; линейные двигатели, двигатели с частотным регулированием.

Механические характеристики двигателей: разгон, торможение и регулирование скорости.

Системы регулируемого электропривода станков.

Аппаратура электрического управления металлорежущими станками.

12. Гидравлический привод станков

Область применения гидравлического привода в станках, его преимущества и недостатки, основные требования, предъявляемые к гидроприводу станков.

Способы регулирования скорости в гидравлических приводах станков, основные характеристики.

Схемы и конструкции основных элементов гидропривода: насосы и гидромоторы; цилиндры; контрольно-регулирующая аппаратура; распределительная аппаратура; фильтры.

Гидравлические следящие приводы. Область применения в станках.

Электрогидравлические приводы станков с ЧПУ: следящие золотники; гидроусилители крутящего момента; насосные установки.

Динамика гидропривода. Устойчивость движения рабочих органов станков с гидроприводом. Вибрация в гидросистемах, устойчивость контуров системы.

13. Автоматизация станков. Программное управление станками. Автоматические станочные системы

Классификация автоматизированных станков и станочных систем по различным признакам. Основные понятия теории автоматического управления.

Системы управления циклом. Принцип построения циклограмм. Структурные схемы кулачковых автоматов. Область применения. Преимущества и недостатки.

Копировальные следящие системы. Индуктивные и фотокопировальные системы. Области применения копировальных станков. Преимущества и недостатки.

Классификация систем программного управления. Системы: контурные, позиционные, прямоугольные, универсальные. Структура систем программного управления основных классов.

Понятие об основных узлах устройств ЧПУ (интерполяторы, устройства управления приводом и др.). Области применения станков с программным управлением. Системы группового числового управления станками. Датчики перемещения в станках с ЧПУ.

Основные принципы компоновки автоматических линий. Транспортные системы. Области применения автоматических линий. Определение. Принципы построения.

14. Особенности станков для физико-технических методов обработки

Типовые узлы станков для электроэрозионной обработки, генераторы импульсов энергии, виды электродов, системы автоматического регулирования.

Автоматизация электроэрозионных копировально-прошивочных и вырезных станков. Средства и устройства автоматизации.

Ультразвуковые станки, физические основы их работы.

Станки для обработки электрохимическими методами.

Установки для электрохимической обработки типовых деталей.

Станки для обработки комбинированными методами, их классификация. Станки для обработки электроконтактными и анодно-механическими методами.

15. Эксплуатация станков и станочных систем

Установка станков на фундамент.

Испытание станков на холостом ходу и при резании.

Особенности эксплуатации станков с ЧПУ и ГПС.

Техническое обслуживание и ремонт.

Проблемы модернизации станков.

Вопросы к экзамену:

1. Основные направления развития станков и станочных систем.
2. Почему недостаточно классифицировать станки только по технологическому назначению? По каким еще параметрам классифицируют станки?
3. В чем состоит модульный принцип в создании (производстве) токарных станков с ЧПУ.
4. Какие типы станков входят в группу шлифовальных и полировальных.
5. Сферы применения станков работающих абразивными лентами и свободным абразивом.
6. Какие конструктивные, технологические и прочие мероприятия обеспечивают достижение требуемой точности обработки станков шлифовальной группы?
7. Какие типы станков входят в группу зубо- и резьбообрабатывающих?
8. Какие типы станков входят в группу фрезерных?
9. В каком случае многоцелевой фрезерный станок будет считаться станочным модулем?
10. Общая характеристика станков для разрезания заготовок. Типы, инструмент, автоматизация.

11. Как изменится амплитуда колебаний при резании при увеличении собственной частоты колеблющегося узла?
12. Как изменится амплитуда колебаний при резании при уменьшении приведенной массы колеблющегося узла?
13. Как изменится амплитуда колебаний при резании при увеличении жесткости колеблющегося узла?
14. Как изменится собственная частота системы при уменьшении приведенной массы?
15. Как изменится собственная частота системы при увеличении жесткости?
16. Как изменится частота вынужденных колебаний при фрезеровании при увеличении числа зубьев фрезы в 2 раза?
17. Какой способ установки станка обеспечит лучшую виброизоляцию?
18. От чего зависит усилие зажима в механизмах с силовым замыканием при заданных его габаритах?
19. Как изменяется усилие зажима в механизмах с жестким замыканием при увеличении разброса размеров заготовки?
20. Какой тип привода главного движения в наибольшей степени удовлетворяет требованиям к станкам с ЧПУ?
21. Какой тип привода подач наиболее распространен на станках с ЧПУ?
22. Какая передача обеспечивает наибольшей нагрузочной способностью?
23. Методы перехода от динамической модели к математической.
24. Что такое приведенная жесткость упругого элемента. Алгоритм приведения?
25. Как осуществляется приведение изгибной жесткости вала к крутильной?
26. Алгоритм приведения податливости стыка.
27. Что такое демпфирование?. Правила приведения демпфирования.
28. Статическая и динамическая характеристики процесса резания.
29. Частоты и формы колебаний систем балочного типа.
30. Перечислите источники вынужденных колебаний в станках. Как идентифицируют вынужденные колебания в станках?
31. Автоколебания в станках. Основные гипотезы возбуждения автоколебаний.
32. Методы и средства борьбы с автоколебаниями в процессе резания.
33. Фрикционные автоколебания в станках. Причины фрикционных автоколебаний.
34. Методы и средства борьбы с фрикционными автоколебаниями.
35. Область применения автоматических линий.
36. В каких подшипниках натяг регулируется от системы ЧПУ?
37. В каких станках смена инструмента производится автоматически?
38. Какова величина минимального зазора в гидростатических направляющих станков?
39. В каком режиме работают двигатели привода подач в станках с ЧПУ?
40. В каких случаях применяется гидростатическая червячно-реечная передача в приводах подач станков с ЧПУ?
41. Какой тип передачи является основным в приводах подач станков с ЧПУ?
42. Чем определяется быстроходность шпинделя?
43. Какой тип муфт используется в приводах подач станков с ЧПУ?
44. Чем определяется геометрическая точность шпиндельного узла?
45. Чем определяется долговечность шпиндельного узла.
46. Чем характеризуется виброустойчивость шпиндельного узла.
47. Какие колебания шпиндельного узла наиболее опасны при работе станка
48. Основные показатели надежности.
49. Диагностика режущего инструмента.
50. Вибродиагностика. Метод прямого спектра.
51. Средства диагностики. Первичные преобразователи.
52. Типы конструкций долбяков. Преимущества и недостатки по сравнению с другими способами зубонарезания.
53. Фрезы с затылованными зубьями
54. Исходное сечение и геометрия долбяков.
55. Режущие кромки и стружечные канавки шеверов.
56. Плосковершинное производящее колесо при нарезании конических колес.

57. Нарезание конических колес дисковыми фрезами.
58. Нарезание конических колес круговыми протяжками
59. Обкатные и полуобкатные конические передачи.
60. Фрезы-улитки.
61. Косое затылование.
62. Обдирочные (кукурузные) фрезы
63. От чего зависит точность работы гидравлического следящего привода?
64. От чего зависит скоростная ошибка гидравлического привода?
65. В каком случае применяется дифференциальный гидроцилиндр для следящего привода?

Основная литература

1. Автоматизация производственных процессов в машиностроении / Н.М. Капустин, П.М. Кузнецов, А.Г. Схиртладзе [и др.]. – М.: Высшая школа, 2004. – 415 с.
2. Бундур М.С., Шмаков В.А. Расчет и конструирование станков. Шпиндельные узлы металлорежущих станков. Учебное пособие – СПб.; Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 76 с.
3. Бундур М.С., Хитрик В.Э., Шмаков В.А. Динамика металлорежущих станков. Учебное пособие. Рекомендовано учебно-методическим объединением по университетскому политехническому образованию в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки «Технологические машины и оборудование»– СПб.; Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – 136 с.
4. Машиностроение: Энциклопедия. Технология изготовления деталей машин. / Под ред. А.Г.Суслова. М.: Машиностроение, 1999.
5. Панкратов Ю.М. Профилирование обкатных инструментов, - СПб.: Изд-во «Политехника-сервис», 2010, -158 с.
6. Подураев В.Н. Автоматически регулируемые и комбинированные процессы резания. М.: Машиностроение, 1977.
7. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем / Под ред. А.С. Проникова. Т.1, 2 (в 2 ч.), 3. М.: Машиностроение, МГТУ им. Баумана, 1994, 1995.
8. Проников А.С. Надежность машин. М.: Машиностроение, 1978.
9. Родин П.Р. Основы проектирования режущих инструментов. Учеб. для вузов. Киев: Высшая школа, 1990.
10. Металлорежущие инструменты: Учеб. для вузов / Г.Н. Сахаров и др. М.: Машиностроение, 1989.
11. Свешников В.К. Станочные гидроприводы: Справочник. 3-е изд. М.: Машиностроение, 1995.

Дополнительная литература

1. Бабук В.В. Проектирование технологических процессов механической обработки в машиностроении / В.В. Бабук, В.А. Шкред, Г.П. Кривко. – Минск: Вышэйшая школа, 1987. – 254 с.
2. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов / В.Ф. Бобров. – М.: Машиностроение, 1975. – 343 с.
3. Бушуев В.В. Основы конструирования станков / А.А. Бушуев. – М.: Станкин, 1992. – 520 с.
4. Гибкое автоматическое производство / под.ред. Майорова С.А. и Орловского Г.В. - М.: Машиностроение, 1983. – 376 с.
5. Грановский Г.И. Резание металлов / Г.И. Грановский, В.Г. Грановский. – М.: Высш. шк., 1985. – 304 с.
6. Гузеев В.И. Режимы резания для токарных и сверлильно-фрезерно-расточных станков с ЧПУ / В.И. Гузеев, В.А. Батуев, И.В. Сурков; под ред В.И. Гузеева. – М.: Машиностроение, 2005. – 368 с.
7. Данилов В.А. Формообразующая обработка сложных поверхностей резания / В.А. Данилов. – Минск: Наука и техника, 1995. – 264 с.
8. Иноземцев Г.Г. Проектирование металлорежущих инструментов / Г.Г. Иноземцев. – М.: Машиностроение, 1984. – 272 с.
9. Инструмент для станков с ЧПУ, многоцелевых станков и ГПС / И.Л.Фадюшин, Я.А.Музыкант, А.И.Мещеряков, А.Р.Маслов. – М.: Машиностроение, 1990. – 272 с.

10. Комплексные способы эффективной обработки резанием / Ю.М. Ермаков. – М.: Машиностроение, 2005. – 272 с.
11. Кочергин А.И. Автоматы и автоматические линии / А.И. Кочергин. – Минск: Вышэйшая школа, 1980. – 288 с.
12. Кочергин А.И. Основы надежности металлорежущих станков / А.И. Кочергин. – Минск: Вышэйшая школа, 1982. – 175 с.
13. Кузнецов Ю.И. Оснастка для станков с ЧПУ: Справочник / Ю.И. Кузнецов, А.Р. Маслов, А.Н. Байков. – 2-е изд. – М.: Машиностроение, 1990. – 512 с.
14. Лоладзе Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента. – М.: Машиностроение, 1982. – 320 с.
15. Магнитно-абразивная обработка точных деталей / Сакулевич Ф.Ю. [и др.]. – Минск: Вышэйшая школа, 1977. – 286 с.
16. Марков А.И. Ультразвуковое резание труднообрабатываемых материалов / А.И. Марков. – М.: Машиностроение, 1968. – 365 с.
17. Маслов А.Р. Приспособления для металлообрабатывающего инструмента: Справочник / А.Р. Маслов – М.: Машиностроение, 2002. – 256 с.
18. Металлорежущие станки, автоматы и станочные комплексы.
Учебное пособие. /М.С.Бундур [и др.]. – СПб.:Из-во СПбГПУ, 1994.- 84 с.
19. Металлорежущие станки. Кинематика и наладка. Учебное пособие./ Н.А.Молявко [и др.].- СПб.:Из-во СПбГПУ, 1998.- 36 с.
20. Механическая обработка материалов. / под ред. Дальский А.И., Гаврилюк В.С., Вухаркин Л.Н. [и др.]: Учебник для вузов. – М.: Машиностроение, 1981. – 263 с.
21. Обработка деталей на станках с ЧПУ / Е.Э. Фельдштейн, М.А. Корниевич. – Минск.: Вышэйшая школа, 2006. – 287 с.
22. Обработка металлов резанием (2-е издание) / А.А. Панов. – М.: Машиностроение, 2004. – 784 с.
23. Основы научных исследований: Учебник для технических вузов / В.И.Крутов, И.М.Грушко, В.В.Попов [и др.]; Под ред. В.И.Крутова. – М.:Высш.шк., 1989. – 399 с.
24. Острейковский В.А. Теория надежности: Учеб. для вузов / В.А. Острейковский. – М.: Высш. шк., 2003. – 463 с.
25. Подураев В.Н. Автоматически регулируемые и комбинированные процессы резания / В.Н. Подураев. – М.: Машиностроение, 1977. – 304 с.
26. Прогрессивные конструкции затылованных инструментов - (Серия: Библиотека инструментальщика) / В.Б. Протасьев, М.В. Ушаков, Ю.С. Степанов. – М.: Машиностроение, 2004. – 236 с.
27. Проектирование металлорежущих станков и станочных систем: Справочник-учебник. В 3 т. Т.1: Проектирование станков; Т.2: Расчет и конструирование узлов и элементов станков; Т.3: Проектирование станочных систем / Под общей ред. А.С.Проникова – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана: Машиностроение, Т.1, 1994; Т.2, 1995; Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана: Изд-во «Станкин», Т. 3, 2000. – 3 т.
28. Производство деталей металлорежущих станков / А.В. Мухин, О.В. Спиридонов, А.Г. Схиртладзе [и др.]. – М.: Машиностроение, 2001. – 560 с.
29. Проников А.С. Надежность машин / А.С. Проников. – М.: Машиностроение, 1978. – 592 с.
30. Пуш А.В. Шпиндельные узлы. Качество и надежность / А.В. Пуш. – М.: Машиностроение, 1992. – 228с.
31. Режущий инструмент и инструментальное обеспечение автоматизированного производства: учеб. пособие для вузов / Е.Э.Фельдштейн, М.Л.Еременко, М.А.Корниевич [и др.]. Под общ. ред. Е.Э.Фельдштейна. – Минск: Вышэйшая школа, 1993. – 424 с.
32. Режущий инструмент / Д. В. Кожевников, В. А. Гречишников, С. В Кирсанов, В. И. Кокарев, А. Г. Схиртладзе. – М.: Машиностроение, 2004. – 512 с.
33. Семенченко И.Л. Проектирование металлорежущих инструментов / И.Л. Семенченко, М.Л. Матюшин, Г.Н. Сахаров. – М.: Машгиз, 1962. – 952 с.
34. Синопальников В.А Надежность и диагностика технологических систем: Учеб. для студентов вузов/ В.А. Синопальников, С.Н. Григорьев.- М.: Станкин, 2003 - 331 с.
35. Справочник по электрическим и ультразвуковым методам обработки материалов / Л.Я.

Попилов. – Л.: Машиностроение, 1971. – 543 с.

36. Справочник технолога по автоматическим линиям / А.К.Косилова, А.Г.Лыков, О.М.Деев [и др.]. – М.: Машиностроение, 1982. – 320 с.

37. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. / А.М.Дальский [и др.]; под ред. А.М.Дальского, А.Г.Косиловой, Р.К.Мещерякова, А.Г.Сулова – М.: Машиностроение, 2001. – 2 т.

38. Старков В.К. Дислокационные представления о резании металлов / В.К. Старков. - М.: Машиностроение, 1979. – 160 с.

39. Теория резания / П.И. Ящерицын, М.А. Корниевич, Е.Э.Фельдштейн. – М.: Высш. школа, 2005. – 512 с.

40. Трение, износ и смазка (трибология и триботехника) / А.В. Чичнадзе, Э.М. Берлинер, Э.Д. Браун [и др.]. – М.: Машиностроение, 2003. – 576 с.

41. Фельдштейн Е.Э. Режущий инструмент и оснастка станков с ЧПУ: справ. пособие / Фельдштейн Е.Э. – Минск: Высш. шк., 1988. – 336 с.

42. Четвериков С.С. Металлорежущие инструменты / С.С. Четвериков. – М.: Высш. шк., 1965.

43. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов. Учебное пособие: в 2-х томах/ Б.А. Артамонов, Ю.С. Волков, В.И. Дрожжалова [и др.]. – М.: Высшая школа, 1983. – 2 т.

44. Электроэрозионная обработка материалов / М.К. Мицкевич, А.И. Бушик, И.А. Бакуто [и др.]. – Минск: Наука и техника, 1988. – 215 с.

45. Юликов М.И. Проектирование и производство режущих инструментов / М.И. Юликов, Б.И. Горбунов, Н.В. Колесов. – М.: Машиностроение, 1987. – 296 с.

46. Явлинский К.Н, Явлинский А.К. Вибродиагностика и прогнозирование качества механических систем / К.Н. Явлинский, А.К. Явлинский. – Л.: Машиностроение, 1983 - 239с.

5. Технология машиностроения

Введение

Курс Технология машиностроения является основным профилирующим курсом для профиля "Технология машиностроения". Целью его изучения является - подготовить будущих аспирантов к изучению научных основ и математических методов проектирования технологических процессов изготовления различных изделий машиностроения.

Задачами курса являются:

- изучение научных основ и различных методик математического моделирования технологических процессов механической обработки;
- изучение основных методов формообразования и обработки, применяемых в машиностроении;
- изучение технологии изготовления типовых деталей;
- изучение методов соединения деталей, принципиальных основ и общей;
- методики проектирования технологических процессов сборки;
- получение практических навыков проектирования технологических процессов изготовления машиностроительных изделий.

1. Основные положения и понятия технологии машиностроения

Задачи и основные направления развития машиностроения. Предмет технологии машиностроения. Технология машиностроения как наука. Основные этапы развития технологии машиностроения. Роль русских ученых и инженеров в формировании и развитии технологии машиностроения. Направления дальнейшего развития технологии машиностроения. Цель и задачи дисциплины, ее место, роль и значение в системе других дисциплин, изучаемых студентами по специальности - технология машиностроения. Связь дисциплины "Основы технологии машиностроения" с другими дисциплинами учебного плана.

2. Основные определения технологии машиностроения

Машина как объект производства. Изделия, детали, узлы, группы, подузлы, подгруппы и другие сборочные единицы, служебное назначение изделий. Качество изделий. Производственный и технологический процессы. Классификация технологических процессов (по ЕСТПП): проектный, рабочий, единичный, типовой, стандартный, временный, перспективный, маршрутный, операционный, маршрутно-операционный. Технологическая операция. Рабочее место. Элементы технологической операции: установ, технологический переход, вспомогательный переход, рабочий ход, вспомогательный ход, позиция.

Необходимость сочетания в технологическом процессе технического (обеспечение заданного качества изделий) и экономического (наивысшая производительность при полном использовании орудий труда и наименьших затратах) принципов. Трудоемкость и станкоемкость. Норма времени и норма выработки. Программа выпуска изделий. Объем серии изделий. Производственная и операционная партии. Объем выпуска изделий. Характеристики технологического процесса: цикл технологической операции, такт и ритм выпуска. Производственный цикл. Типы производства: единичное, серийное, массовое и их технологическая характеристика. Поточная и непоточная организация производства. Групповая организация производства. Специализация и кооперирование производства. Производительность труда, себестоимость изделий и операций; их технологическое обеспечение.

3. Основы теории базирования деталей и заготовок

Сопряжение деталей при сборке и установка заготовок на станках и в приспособлениях. Теоретические основы определения положения твердого тела в пространстве. Понятие о базировании и базах, комплекте баз, опорной точке. Классификация баз. Свободная и исполнительная поверхности. Определенность и неопределенность базирования. Правила обеспечения определенности базирования. Средства и порядок закрепления детали и заготовки. Смена баз. Подготовка смены баз. Методика построения технологических размерных цепей, образующихся в результате смены баз. Расчет погрешности, вызываемой сменой баз, при различных схемах установки заготовок. Принцип единства баз. Условия реализации. Особенности при обработке нескольких поверхностей с одного станка. Основы выбора технологических и измерительных баз. Роль и значение первой операции. Классификация деталей для выбора технологических баз. Принципы выбора баз и последовательности обработки заготовок. Рекомендации по выбору баз.

4. Построение, расчет и анализ технологических размерных цепей

Виды технологических размерных цепей (Р.Ц.). Методика построения

технологических Р.Ц. Основные положения и зависимости для расчета технологических Р.Ц.: расчет номинальных размеров звеньев; расчет погрешностей и допусков замыкающего и составляющих звеньев, расчет координат середин полей допусков. Области применения, преимущества и недостатки расчета технологических размерных цепей методами полной, неполной и групповой взаимозаменяемости, пригонки и регулирования. Методика расчета технологических линейных и угловых Р.Ц. методами полной, неполной и групповой взаимозаменяемости, пригонки и регулирования.

5. Закономерности и связи, проявляющиеся в процессе проектирования и создания машины. Качество изделий

Показатели качества изделий. Три вида показателей качества: расчетные, действительные, измеренные. Показатели качества деталей. Показатели точности деталей: точность размеров, расположения поверхностей, геометрической формы поверхностей (включая их макро - и микрогеометрию и волнистость). Взаимосвязь показателей точности детали. Показатели точности сборочной единицы и машины. Надежность и долговечность детали, сборочной единицы и машины. КПД, легкость управления. Степень автоматизации и другие показатели качества машины. Технические условия, нормы точности, стандарты. Отклонения характеристик качества изделий от требуемых (расчетных) значений. Систематические, переменные систематические и случайные погрешности. Расчетно-аналитический и статистический методы анализа погрешностей.

6. Статистические методы исследования качества изделий

Рассеивание параметров качества изделий. Факторы, порождающие рассеивание. Точечные диаграммы. Производственные погрешности. Задачи, решаемые на основе изучения статистических характеристик рассеивания. Величина и пояс рассеивания. Кривые распределения; методика построения гистограмм и практических кривых распределения. Теоретические кривые и законы распределения. Математические характеристики кривых распределения. Коэффициент и процент риска. Степень взаимозаменяемости. Характеристики рассеивания при смешении нескольких неоднородных партий деталей. Закон Гаусса и условия образования рассеивания характеристик качества изделий по этому закону. Рассеивание существенно положительных величин. Влияние действия доминирующих факторов на характеристики качества изделий. Доминирующие факторы: случайные, постоянные, равномерно изменяющиеся во времени, имеющие постоянный и переменный характер изменения и др. Композиционные кривые и законы распределения. Распределение характеристик качества при одновременном воздействии случайных и переменных систематических погрешностей. Расчет производственной погрешности. Методика и задачи статистического анализа технологических процессов. Основы применения статистических методов исследования технологических процессов.

7. Методы разработки технологического процесса изготовления машины, обеспечивающий достижение ее качества, требуемую производительность и эффективность. Формирование качества деталей, обрабатываемых на металлорежущих станках

Включение заготовки при обработке в размерные и кинематические цепи технологической системы "станок-приспособление-инструмент-заготовка". Три тапа достижения точности: установка заготовки, настройка технологической системы, обработка заготовки. Причины возникновения погрешностей по выдерживаемым параметрам качества обрабатываемой заготовки на каждом этапе. Производственные погрешности как сумма погрешностей технологической системы и погрешности, вызываемые сменой баз. Погрешность установки как сумма погрешностей базирования, закрепления и положения. Погрешность закрепления: сущность, принципы расчета; влияние контактных деформаций в стыках на погрешность закрепления; повторные нагружения, пути уменьшения погрешности закрепления. Погрешности положения заготовки: факторы, определяющие погрешность положения и пути её уменьшения. Погрешность статической настройки технологической системы: определение рабочего настроечного размера и размера статической настройки при изготовлении одной детали и партии деталей. Настройка с требуемой точностью на обработку партии заготовок. Методы базирования приспособлений и режущего инструмента на станках. Методы статической настройки размерных и кинематических цепей технологической системы. Использование эталонов, "габаритов", мерных длин, лимбов, линейек, корректирующих устройств и т.д. Настройка инструментов вне станка. Погрешности, возникающие при обработке заготовки на станке. Жесткость технологической системы. Податливость. Измерение жесткости: статические и динамические методы; лабораторные и производственные методы. Влияние жесткости технологической системы на точность формы обрабатываемых заготовок. Влияние жесткости на точность размеров деталей, обработанных на настроенных станках. За-

кон копирования погрешностей. Влияние жесткости технологической системы на производительность обработки. Основные пути повышения жесткости технологической системы.

Факторы, влияющие на величину производственной погрешности при обработке заготовки на станке:

1) качество материала обрабатываемых заготовок; влияние колебания физико-механических свойств материала на силы резания и на точность обработки; величина и колебание припусков на обработку; основные мероприятия для сокращения погрешности обработки;

2) вибрации и их влияние на величину погрешности обработки; вынужденные колебания и автоколебания. Меры предотвращения и сокращения вибраций;

3) тепловые деформации технологической системы. Стационарное и нестационарное её состояние. Источники тепловыделения и тепловой баланс. Влияние теплообразования на точность обработки на универсальных и настроенных станках. Тепловые деформации заготовок; методика расчета, пути сокращения, тепловые деформации режущих инструментов: расчет, мероприятия по уменьшению влияния на точность обработки;

4) погрешности обработки, вызываемые износом режущего инструмента. Расчет линейного износа различных инструментов;

5) остаточные напряжения и их влияние на качество обработанных деталей. Классификация технологических остаточных напряжений. Методы борьбы с остаточными напряжениями. Настройка станков на размер по пробным заготовкам. Погрешности настройки. Приемы ручной настройки и поднастройки "малыми импульсами". Контроль точности настройки: путем измерения пробных заготовок универсальным инструментом; путем измерения пробных заготовок калибром с суженным допуском по знакам отклонения. Прогрессивные методы настройки и поднастройки станков на размер: автоматическая поднастройка с помощью подналадчиков; самоподнастраивающиеся станки; адаптивные системы.

8. Расчет производственных погрешностей

Анализ влияния погрешностей установки заготовки и настройки станка на размер, погрешностей, возникающих при обработке заготовки на станке и погрешностей, вызываемых сменой баз и геометрическими погрешностями станка и технологической оснастки, на точность размеров, расположения и формы поверхностей обработанной детали. Методика расчета производственных погрешностей при работе на настроенных станках (по методу автоматического получения размеров), правила суммирования частных погрешностей.

9. Качество поверхности и технологические методы повышения надежности деталей машин

Шероховатость поверхности, остаточные напряжения, физико-механическое состояние металла поверхностного слоя и его микроструктура. Причины возникновения неровностей поверхности. Влияние способов и режимов механической обработки резанием, состав и структура обрабатываемого материала, смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ), геометрии режущего инструмента, состояния станка и инструмента, вибраций технологической системы на шероховатость поверхности. Физическая сущность деформационного упрочнения металла в процессе пластической деформации. Характеристики физико-механического состояния металла поверхностного слоя и их изменение под влиянием изменения условий и режимов механической обработки точением, фрезерованием, шлифованием, доводкой. Влияние технологии обработки на изменение микроструктуры металла поверхностного слоя. Механизм образования остаточных напряжений в поверхностном слое и влияние способов и режимов механической обработки на величину, знак и глубину распространения остаточных напряжений. Влияние шероховатости, остаточных напряжений и отдельных характеристик состояния металла поверхностного слоя на основные эксплуатационные свойства деталей машин (износостойкость, сохранение точности, усталостная прочность, коррозионная стойкость, магнитные свойства и др.).

Неоднородность свойств поверхностного слоя и нестабильность сроков службы поверхностей деталей. Задача повышения надежности машины путем технологического воздействия на рабочие поверхности деталей.

Задача формирования параметров шероховатости и состояния поверхностного слоя деталей машин, соответствующих различным эксплуатационным условиям.

Технологическая наследственность. Назначение способов и режимов механической обработки резанием, обеспечивающих требуемые эксплуатационные качества деталей машин. Применение методов поверхностного пластического деформирования (ППД). Термическая и термохимическая обра-

ботка с целью повышения износостойкости поверхностных слоев. Металлические, неметаллические покрытия.

10. Принципы построения производственного процесса изготовления машины. Разработка технологического процесса изготовления деталей. Технология сборки

Критерии экономичности технологических процессов. Методы подсчета себестоимости единицы продукции и технологической операции. Методика определения экономической эффективности технологических процессов обработки заготовок и сборки изделий, графоаналитический и расчетно-аналитические методы.

Задача оптимизации технологических процессов.

Технологичность конструкции изделия как условие обеспечения высокой экономической эффективности технологических процессов. Основная задача отработки конструкции на технологичность. Общие правила и методика отработки конструкций на технологичность, пути обеспечения высокой технологичности конструкций изделий. Количественная оценка технологичности.

Технологические методы снижения себестоимости изделий:

1) увеличение количества изделий, подлежащих изготовлению в единицу времени (квартал, год) и по неизменяемому чертежу. Использование унификации, нормализации деталей и узлов и кооперирования предприятий для увеличения количества изделий, подлежащих изготовлению. Группирование изделий. Специализация предприятий и цехов;

2) сокращение расходов на материалы. Понятие о коэффициенте использования материала. Пути приближения качества заготовки к качеству готовых деталей. Получение отходов в наиболее ценном виде и их использование;

3) сокращение расходов на заработную плату, приходящуюся на единицу продукции. Сокращение времени, затрачиваемого на выполнение операции, за счет сокращения подготовительно-заключительного и штучного времени. Пути и средства сокращения основного технологического времени. Повышение качества заготовок. Сокращение длины пути рабочего хода инструмента. Совмещение переходов. Дифференцирование и концентрирование операций. Сокращение величин холостых ходов. Увеличение режимов обработки. Связь режимов обработки с качеством и производительностью. Обоснование выбора режимов обработки. Сокращение вспомогательного времени. Сокращение времени, затрачиваемого на смену и закрепление обрабатываемых заготовок, управление оборудованием, на контроль за ходом выполнения технологического процесса и получением требуемого качества изделий. Роль и значение приспособлений. Групповая обработка деталей. Обслуживание одним рабочим нескольких единиц оборудования и совмещение профессий. Использование станков-автоматов и станков с программным управлением. Улучшение условий труда и уменьшение утомляемости рабочих. Научная организация труда. Сокращение накладных расходов;

4) типизация технологических процессов: сущность и преимущества.

Совершенствование организации производства. Организационные формы и виды производственных процессов. Поточная и непоточная организации производства. Переменно-поточная и непрерывно-поточная организация производства.

Использование метода разработки технологического процесса изготовления машины при проектировании технологических процессов сборки машины и изготовления деталей любого типа в единичном, серийном и массовом производствах (6 часов).

Исходная информация для проектирования технологического процесса изготовления машины.

Базовая информация: конструкторская документация на машину; программа выпуска машины; общее количество машин, подлежащих изготовлению по неизменным чертежам; условия, в которых предполагается организовать и осуществить технологическую подготовку производства и изготовление машины; организационные условия и др.

Руководящая и справочная информация. Информация о технологических возможностях оборудования, методах обработки заготовок и сборки машин.

Последовательность проектирования технологического процесса изготовления машины. Проектирование технологии общей сборки машины; проектирование технологии сборки всех сборочных единиц. Проектирование технологии изготовления деталей. Выбор средств технологического оснащения. Проектирование участков, цехов и заводов.

Особенности проектирования технологических процессов ремонтного производства.

Оценка технологичности конструкции изделия.

11. Основы разработки технологического процесса сборки машины. Общие положения и подходы к автоматизации процесса сборки

Общая и узловая сборка. Переходы, включаемые в технологический процесс сборки. Организационные формы сборки изделий: стационарная и подвижная сборка; стационарная сборка без расчленения работ и с расчленением работ; бригадный метод сборки; подвижная сборка с расчлененным процессом со свободным и принудительным перемещением объекта производства; поточная сборка; конвейерная сборка; характер работы конвейеров; непрерывное движение со снятием и без снятия изделий; пульсирующее движение со снятием и без снятия изделий. Преимущества, недостатки и области применения различных организационных форм сборки.

Исходная информация для разработки технологического процесса сборки. Анализ исходной информации (анализ норм точности и технических условий). Расчет такта выпуска и установление типа производства. Отработка конструкции изделия на технологичность с точки зрения сборки.

Последовательность разработки технологии сборки: разбивка изделия на сборочные единицы; определение порядка комплектования узлов и изделий в процессе сборки, составление схем сборочных единиц; дифференциация и концентрация процесса сборки; разработка технологических схем процесса сборки узлов и изделия. Составление технологических процессов сборки для производств различных типов. Нормирование сборочных работ. Выбор и конструирование средств технологического оснащения. Механизация и автоматизация сборочных работ. Определение рациональных способов транспортирования деталей и изделий; подбор и проектирование транспортных средств. Разработка и оформление технологической документации.

12. Технология сборки машины и сборочных единиц

Технологический процесс сборки машины: анализ исходной информации, выбор организационной формы сборки, установление последовательности сборки, разработка технологической схемы сборки, выбор средств технологического процесса сборки, техническое нормирование сборочных работ, разработка технологической документации.

Технология сборки типовых сборочных единиц. Особенности достижения требуемой точности типовых сборочных единиц. Монтаж валов на опорах скольжения и качения. Способы уменьшения радиального биения и осевого перемещения валов и погрешности положения оси вращения вала относительно баз корпусной детали. Сборка зубчатых и червячных передач. Сборка винтовых передач и резьбовых соединений. Сборка плоскостных соединений. Балансировка сборочных единиц. Методы и средства механизации сборочных работ. Методы и средства технического контроля.

Типовые сборочные операции на примерах сборки металлорежущих станков, двигателей, автомобилей и других машин.

Особенности проектирования технологических процессов автоматической сборки. Задачи и условия автоматизации сборочных процессов. Преимущества, обеспечиваемые автоматизацией сборочных процессов. Исходные данные для разработки технологических процессов автоматической сборки. Изучение объекта сборки и технико-экономическое обоснование целесообразности ее автоматизации.

Анализ технологичности объекта и внесение в его конструкцию допустимых изменений. Анализ размерных цепей объекта и условий собираемости. Составление технологических схем сборки объекта, наиболее благоприятных для осуществления автоматизации узловой и общей сборки.

Выбор баз и разработка маршрута узловой и общей сборки. Установление комплекса основных и вспомогательных операций и их содержания. Технологическое обеспечение заданной производительности. Предварительное определение экономической

эффективности проектируемой линии. Корректировка принятых решений. Проектирование операционного технологического процесса сборки с разработкой технических заданий на конструирование сборочных автоматов и полуавтоматов. Выравнивание

производительности отдельных автоматов и участков линии. Точностной анализ запроектированного процесса сборки. Расчеты точности выполнения заданных соединений. Технологические расчеты выполняемых сборочных операций, расчет времени циклов работы сборочных автоматов и полуавтоматов, составление циклограмм. Определение технико-экономических показателей линии. Особенности проектирования групповых автоматических и автоматизированных линий сборки.

13. Основы проектирования технологического процесса изготовления детали

Анализ исходной информации для проектирования технологического процесса изготовления детали. Расчет такта выпуска и установление типа производства. Определение производственной и операционной партии в серийном производстве.

Анализ конструкции, подлежащей изготовлению детали. Анализ ее служебного назначения, функций отдельных поверхностей, норм точности и технических условий. Отработка конструкции

детали на технологичность, технологические требования к конструкции детали (корпусной, вала, втулки и др.).

Разработка технических условий на исходную заготовку, выбор технологического процесса её получения, назначение допусков на изготовление заготовки. Понятие о припуске на обработку.

Методы расчета припусков на механическую обработку. Опытно-статистический метод назначения припусков. Расчетно-аналитические методы определения промежуточных (межпереходных) и общих припусков. Методика расчета межпереходных предельных размеров для наружных и внутренних поверхностей заготовки.

Основные этапы проектирования единичного технологического процесса механической обработки заготовки:

- 1) разработка маршрута обработки заготовки,
- 2) выбор технологических баз для всех операций,
- 3) выбор вида и последовательности обработки отдельных поверхностей заготовки,
- 4) разработка маршрутного технологического процесса,
- 5) разработка технологических операций: определение наиболее рациональной структуры операции (одноместная или многоместная, параллельная или последовательная, одноинструментная или многоинструментная обработка и т.д.); установление рациональной последовательности и содержания переходов с расчетом межпереходных и общих припусков и размеров, назначение соответствующих допусков. Расчет операционных размеров методом размерного анализа технологических процессов. Понятие об операционной цепи и её звеньях. Подготовка чертежа детали и исходных данных для размерного анализа. Методика построения размерных схем. Расчет операционных размерных цепей. Размерный анализ технологических процессов с использованием ЭВМ. Выбор технологического оснащения - оборудования (станка), приспособления, режущих, вспомогательных и измерительных инструментов; расчет или назначение режимов обработки; разработка схем настройки станка на размер; техническое нормирование. Оформление технологической документации.

- 6) разработка контрольных операций.

- 7) расчет настройки станка на размер.

- 8) расчет точности, производительности и экономической эффективности разработанных операций и маршрутного, маршрутно-операционного или операционного технологического процесса. Сопоставление результатов расчета с аналогичными действующими или перспективными технологическими процессами.

составление технических заданий на проектирование нестандартных средств технологического оснащения и межоперационного транспорта.

14. Особенности разработки технологических процессов обработки деталей на автоматических линиях

Построение технологических процессов обработки деталей на автоматических линиях. Оценка технологических возможностей и области применения автоматических линий различных типов. Анализ технологичности конструкции обрабатываемых деталей и отработка конструкции на технологичность. Расчет темпа работы линии. Разработка технологического маршрута для составления технического задания на проектирование автоматической линии. Выбор метода получения заготовки и её базовых поверхностей.

Установление комплекса переходов, выполняемых на линии. Разбивка комплекса переходов по станкам. Составление схемы обработки и ориентировочное определение количества станков и участков линии. Установление способа транспортирования заготовки с определением желаемого направления потока с учетом планировки цеха.

Дальнейшая подробная проработка технологического процесса в связи с разработкой технического и рабочего проектов линии.

Уточнение технологического маршрута и содержания операций. Технологическое обеспечение заданной производительности и точности обработки.

Точностной анализ разработанного технологического процесса. Расчет точности обработки с выявлением удельного значения отдельных факторов; корректировка наладок и режимов обработки. Установление требований к точности приспособлений, точности и жесткости станков, к точности настройки станков.

Особенности проектирования технологических процессов для групповых

перенастраиваемых автоматических линий и для комплексных линий, включающих заготовительные процессы, термическую и другие методы обработки, сборку, окончательный контроль и упаковку изделий.

Производительность и технико-экономические показатели работы автоматических линий.

15. Технология изготовления станин, рам, стоек (базовых деталей)

Служебное назначение и классификация базовых деталей. Технические условия и нормы точности. Материалы и способы получения заготовок базовых деталей. Методы повышения износоустойчивости направляющих. Принципы построения технологии изготовления базовых деталей. Естественное и искусственное старение. Принципы базирования станин и других базовых деталей, выбор баз на первой операции.

Черновая обработка базовых деталей. Способы обработки и их технологические возможности: строгание, повышение производительности за счет одновременного использования суппортов и полной длины хода стола, строгание широкими резцами; фрезерование цилиндрическими и торцовыми фрезами, высокопроизводительные способы фрезерования: одновременное фрезерование нескольких поверхностей, последовательное фрезерование нескольких заготовок; шлифование; протягивание. Технологическое оснащение: технологическое оборудование, технологическая оснастка, средства механизации и автоматизации вспомогательных переходов.

Чистовая обработка базовых деталей. Базирование. Способы обработки и их технологические возможности: строгание, строгание широкими резцами; фрезерование, обработка больших плоскостей торцовыми фрезерными головками и однозубыми фрезами (шабрающее фрезерование); протягивание; шлифование торцом и периферией круга. Технологическое оснащение. Пути снижения деформаций базовых деталей от собственного веса; правила расположения опор, применение дополнительных опор, вывешивание и пр. Обработка смазочных и крепежных отверстий.

Отделочная обработка направляющих. Базирование. Способы обработки: строгание, фрезерование, шлифование, доводка, шабрение. Технологическое оснащение.

Технический контроль базовых деталей: методы контроля и средства технологического оснащения.

16. Технология изготовления корпусных деталей

Служебное назначение и классификация корпусных деталей. Технические условия и нормы точности. Материалы и способы получения заготовок. Принципы построения технологических процессов изготовления корпусных деталей. Выбор технологических баз и типовые маршрутные технологические процессы изготовления корпусных деталей.

Способы обработки плоских поверхностей и их технологические возможности: строгание, фрезерование, параллельно-последовательный способ обработки заготовок на многоместных приспособлениях, маятниковое фрезерование, непрерывное фрезерование, протягивание, точение, шлифование. Технологическое оснащение.

Обработка основных отверстий: базирование заготовок, классификация отверстий. Способы обработки и их технологические возможности: по разметке, по разметке со взятием пробных стружек, по установочным валикам, кнопочный метод, метод координатной расточки, обработка на координатно-расточных станках, расточка по координатным шаблонам, расточка в жестких кондукторах и на агрегатных станках. Способы отделочной обработки основных отверстий: тонкое растачивание, внутреннее планетарное шлифование, хонингование, раскатывание, притирка, алмазное выглаживание. Технологическое оснащение.

Обработка корпусных деталей на станках с ЧПУ: специфика технологической подготовки, типовые технологические процессы, обработка на станках типа "обрабатывающий центр". Групповая обработка корпусных деталей.

Особенности построения технологических процессов изготовления корпусных деталей в массовом производстве. Контроль корпусных деталей: методы контроля и средства технологического оснащения.

17. Технология изготовления рычагов, вилок и шатунов

Служебное назначение, технические условия и классификация деталей. Материалы и способы получения заготовок. Технология механической обработки рычагов, вилок и шатунов: принципы построения технологических процессов, базирование, технологическое оснащение. Концентрация операций и переходов. Групповая обработка.

Контроль рычагов, вилок и шатунов: методы контроля и средства технологического оснащения.

18. Технология изготовления валов

Служебное назначение и классификация валов. Технология изготовления ступенчатых валов. Технические условия и нормы точности. Материалы и способы получения заготовок. Принципы построения технологических процессов изготовления ступенчатых валов. Выбор технологических баз и типовые маршрутные технологические процессы изготовления ступенчатых валов.

Центрование заготовок и его влияние на точность изготовления вала.

Способы обработки наружных поверхностей вращения и их технологические возможности: точение; фрезерование; протягивание; шлифование: круглое наружное с продольной подачей, врезанием, уступами, глубинное; бесцентровое шлифование; алмазное и эльборное шлифование; шлифование эластичными инструментами - лентами и кругами; наружное хонингование; суперфиниширование; полирование; обработка поверхностным пластическим деформированием - накатыванием шариками и роликами, виброобкатывание, выглаживание твердосплавными, алмазными и эльборными инструментами; электрофизические и электрохимические методы обработки.

Технологическое оснащение.

Способы получения и обработки шлиц и шпоночных канавок и их технологические возможности: фрезерование, шлицестрогание, шлицепротягивание, холодное накатывание, шлицешлифование, шлицехонингование. Технологическое оснащение.

Способы нарезания резьбы и их технологические возможности: способы образования однозаходной и многозаходной резьбы резцами, гребенками, плашками, метчиками, резьбонарезными головками; "вихревое" нарезание резьбы; фрезерование резьбы дисковыми и цилиндрическими фрезами; накатывание резьбы плашками и роликами с поперечной и осевой подачами; шлифование резьбы дисковыми однониточными и многониточными кругами "по целому"; шлифование резьбы на бесцентровошлифовальном станке; чистовое шлифование точных резьб дисковыми кругами. Технологическое оснащение.

Технология изготовления шпинделей. Служебное назначение, технические условия и нормы точности. Материалы и способы получения заготовок. Особенности построения технологических процессов изготовления шпинделей; методы и средства обеспечения заданной точности расположения наружных и внутренних поверхностей. Типовые маршрутные технологические процессы.

Способы обработки внутренних поверхностей шпинделей и их технологические возможности: сверление, глубокое сверление, зенкерование, развертывание, растачивание, шлифование и др. Технологическое оснащение.

Технология изготовления коленчатых валов. Служебное назначение, технические условия и нормы точности. Материалы и способы получения заготовок. Типовые технологические процессы изготовления коленчатых валов при различной серийности производства: методы обработки, базирование, средства технологического оснащения, пути повышения производительности обработки и качества изделий. Балансировка коленчатых валов. Отделочная обработка шеек коленчатых валов: шлифование, хонингование, суперфиниширование, полирование. Методы повышения усталостной прочности коленчатых валов.

Технология изготовления ходовых винтов. Служебное назначение, технические условия и нормы точности. Материалы и способы получения заготовок. Типовые технологические процессы изготовления ходовых винтов нормальной точности. Особенности изготовления прецизионных ходовых винтов. Особенности изготовления прецизионных ходовых винтов. Особенности изготовления составных ходовых винтов. Технологическое оснащение.

Особенности технологии изготовления валов в мелкосерийном и единичном производстве. Обработка валов на станках с ЧПУ. Требования к заготовкам. Технологические возможности станков с ЧПУ для обработки валов. Технологические операции обработки валов на токарных и шлифовальных станках с ЧПУ.

Особенности технологии изготовления валов в крупносерийном и массовом производстве. Обработка валов на автоматических линиях.

Контроль ступенчатых валов, шпинделей, коленчатых валов, ходовых винтов и других валов; методы контроля и средства технологического оснащения.

19. Технология изготовления деталей, имеющих фасонные поверхности

Служебное назначение и классификация деталей, имеющих фасонные поверхности (кулачки, турбинные лопатки и др.). Технические условия и нормы точности. Материалы и способы получения заготовок. Принципы построения технологических процессов изготовления кулачков и турбинных лопаток. Выбор технологических баз и типовые маршрутные технологические процессы изготовления кулачков и турбинных лопаток.

Способы обработки фасонных поверхностей и их технологические возможности: обработка копированием и огибанием; обработка ступенчатых и плоскостных фасонных поверхностей на токарном, фрезерном, шлифовальном, строгальном и специальных станках по копиям и фасонным инструментом; обработка фасонных поверхностей на станках с ЧПУ. Отделочная обработка фасонных поверхностей ленточным шлифованием и полированием.

Контроль деталей, имеющих фасонные поверхности: методы контроля и средства технологического оснащения.

20. Технология изготовления деталей зубчатых передач

Служебное назначение и классификация зубчатых колес. Технические условия и нормы точности. Материалы и способы получения заготовок.

Технология изготовления цилиндрических и конических зубчатых колес. Выбор технологических баз и типовые маршрутные технологические процессы изготовления цилиндрических и конических зубчатых колес. Выбор технологических баз и типовые маршрутные технологические процессы изготовления цилиндрических и конических зубчатых колес при различной серийности производства. Способы обработки отверстий в заготовках и их технологические возможности: обработка отверстий сверлением в сплошном материале и рассверливанием в предварительно отлитых или прошитых отверстиях; погрешности обработки и способы их уменьшения; зенкерование, развертывание и протягивание отверстий; растачивание отверстий резцом при вращающейся заготовке и при вращающейся расточной оправке; тонкое (алмазное) растачивание; шлифование отверстий при вращающейся и неподвижной заготовке; особенности шлифования отверстий малого диаметра; хонингование и доводка отверстий; обработка поверхностным пластическим деформированием - раскатывание шариками и роликами, прошивание отверстий шариками и дорнование, выглаживание;

электрофизические и электрохимические методы обработки отверстий. Технологическое оснащение.

Способы образования зубьев цилиндрических зубчатых колес: обработка методом копирования - фрезерование зубьев модульной и фасонной концевой фрезой, протягивание зубьев кругодиагональной протяжкой, шлифование профильным кругом; обработка методом обкатки - фрезерование червячными фрезами с осевой, тангенциальной и радиальной подачами, встречное и попутное зубофрезерование однозаходными и многозаходными червячными фрезами, зубострогание долбяками и гребенками, зуботочение. Способы образования зубьев конических зубчатых колес и их технологические возможности: обработка методом копирования - фрезерование модульными фрезами, протягивание; обработка методом обкатки - зубострогание двумя резцами, зубофрезерование двумя коническими дисковыми фрезами. Накатка зубьев цилиндрических зубчатых колес в холодном и горячем состоянии. Технология отделочной обработки зубьев шевингованием, шлифованием, хонингованием, притиркой и другими способами. Зубозакругление. Технологическое оснащение.

Технология изготовления червячных колес. Типовые маршрутные технологические процессы изготовления червячных колес. Способы образования зубьев. Технологическое оснащение.

Технология изготовления червяков. Типовые маршрутные технологические процессы. Способы образования и обработки винтовых поверхностей червяков и их технологические возможности: резцом с прямолинейным прямым и обратным профилем, фрезерованием дисковой или червячной фрезой, шлифование; нарезание червяков круглым долбяком; "вихревое" нарезание червяков; нарезание червяков одновременно двумя дисковыми фрезами; способы отделочной обработки: шлифование, обкатка роликами, притирка, приработка. Технологическое оснащение.

Контроль цилиндрических, конических и червячных зубчатых колес, и червяков: методы контроля и средства технологического оснащения.

21. Основные направления дальнейшего развития технологии машиностроения. Общие подходы к автоматизации технологических процессов изготовления деталей

Развитие машиностроения в направлении повышения производительности и экономичности производства, повышения качества продукции, улучшения условий и облегчения труда человека.

Создание высокопрочных, жаропрочных и долговечных материалов; совершенствование технологии заготовительных операций с целью приближения формы и размеров заготовок к форме и размерам готовой детали, уменьшения объема механической обработки и отходов материалов; применение синтетических материалов и металлокерамики.

Развитие технологии высокоточной абразивно-алмазно-эльборной обработки, электрофизических и электрохимических методов обработки труднообрабатываемых материалов.

Развитие автоматизации и совершенствование технологических процессов сборки машин и механической обработки резанием их деталей. Оптимизация построения технологических операций и процессов. Широкое применение адаптивного управления технологическим оборудованием, создание автоматических линий, участков и цехов с программным управлением, управляемых ЭВМ.

Автоматизация проектирования технологических процессов. Автоматизированная система проектирования технологических процессов как составная часть автоматизированной системы технической подготовки производства.

Комплексная автоматизация производства и создание автоматизированных производств, объединяющих в общей интегрированной производственной системе станки с ЧПУ, обрабатывающие центры, сборочные автоматы, контролирующие и транспортирующие устройства, роботы-манипуляторы и автоматизированное складское хозяйство.

Вопросы к экзамену:

1. Графоаналитический метод определения точности (метод точечных диаграмм).
2. Погрешность закрепления и условные обозначения опор, зажимов и установочных устройств.
3. Схема расположения припусков и допусков при обработке валов, табличный метод определения припусков.
4. Типовой маршрут изготовления втулки (по эскизам).
5. Классификация элементарных погрешностей обработки по воздействию на технологическую систему. Методы их исследований.
6. Проектирование технологических операций, содержание этапа, расшифровать содержание операционного эскиза.
7. Исходные данные для проектирования техпроцессов и их анализ.
8. Этапы проектирования технологического маршрута.
9. Типы центровых отверстий и их обработка.
10. Анализ и отработка технологичности детали.
11. Примерный порядок обработки поверхностей.
12. Типы производства и формы организации производства.
13. Виды баз и примеры их реализации.
14. Этапы обработки деталей класса валов.
15. Основные принципы технологической унификации (типизация, групповая обработка и модульная технология).
16. Зависимость тепловых деформаций резца от времени при работе с перерывами.
17. Основные схемы базирования деталей типа валов и других деталей.
18. Виды погрешностей и их влияние на точность размера, формы и взаимного расположения.
19. Понятие о черновых базах. Выбор баз на первых операциях.
20. Методы чистовой и отделочной обработки валов.
21. Производственный процесс и его структура.
22. Тепловые деформации режущего инструмента при работе без перерывов.
23. Анализ чертежа детали.
24. Этапы проектирования техпроцессов, формулировка технологических задач по чертежу детали.

25. Установка заготовок, погрешность установки.
26. Методы обработки шпоночных канавок и шлицев, их производительность и точность.
27. Методы кривых распределения при исследовании случайных погрешностей.
28. Анализ исходных данных при проектировании техпроцесса, анализ чертежа детали.
29. Условные обозначения опор, зажимов и установочных устройств.
30. Базирование, виды баз.
31. Тепловые деформации технологической системы.
32. Сборка, методы сборки, технологические схемы сборки.
33. Типовые схемы базирования.
34. Правило 6-ти точек.
35. Основные технологические задачи, их решение при обработке деталей класса втулок.
36. Основные принципы выбора технологических баз.
37. Погрешности, вызываемые износом инструмента.
38. Обработка отверстий шлифованием, достижимая точность.
39. Погрешности базирования. Примеры.
40. Правила оформления операционных эскизов. Пример.
41. Правила выбора баз на промежуточных и последних операциях
42. Основные понятия и определения по базированию.
43. Статистические методы исследования точности и технологических операций.
44. Расчет припусков.
45. Расчет жесткости ТС при обработке вала в центрах на токарном станке.
46. Технологические схемы сборки.
47. Выбор баз на последних и промежуточных операциях.
48. Проектирование маршрута обработки отдельных поверхностей.
49. Методы обработки шлицевых поверхностей, их производительность и точность.
50. Статический метод определения жесткости станков.
51. Базирование с выверкой и без выверки.
52. Типовой маршрут изготовления вала (по эскизам).

3.1 Основная литература

1. Козарь И.И., Жуков Э.Л., и др. Технология машиностроения: В 2 кн. Кн. 1 Основы технологии машиностроения. Издание 3 Учеб. пособ. для вузов.- М.: Высш. шк., 2008.
2. Козарь И.И., Жуков Э.Л., и др. Технология машиностроения: В 2 кн. Кн. 2 Основы технологии машиностроения. Издание 3, Учеб. пособ. для вузов.- М.: Высш. шк., 2008.
3. Жуков Э. Л., Козарь И. И., Мурашкин С. Л., Соловейчик А. М. Технологическое обеспечение точности механической обработки С-Пб: СПбГПУ. 2010 г.
4. С. Л. Мурашкин, И. А. Четвериков Современные технологии изготовления деталей на станках с ЧПУ Учебное пособие. - С-Пб: СПбГПУ. 2010 г.
5. Жуков Э.Л., Козарь И.И., Мурашкин С.Л., Соловейчик А.М. Колебания и устойчивость технологических систем Учебное пособие. - С-Пб: СПбГПУ. 2010 г.
6. С.А.Любомудров, С.Н.Степанов, С.Б.Тарасов. Метрологическое обеспечение производства. Учебное пособие. - С-Пб: СПбГПУ. 2009 г.
7. Суслов А.Г., Дальский А.М. Научные основы технологии машиностроения. М.: Машиностроение, 2002.
8. Базров Б.М. Основы технологии машиностроения. - М.: Машиностроение, 2005.- 736 с.
9. Суслов А.Г., Дальский А.М. Научные основы технологии машиностроения. М.: Машиностроение, 2002.- 684 с.
10. Соломенцев Ю.М. Технологические основы гибких производственных систем: М.: Высшая школа, 2000.- 255с

3.2 Дополнительная литература

1. Машиностроение. Энциклопедия. Т. III-3: Технология изготовления деталей машин /А.М. Дальский, А.Г. Суслов, Ю.Ф. Назаров и др.; Под общ. ред. А.Г. Суслова. М.: Машиностроение, 2000.
2. Машиностроение. Энциклопедия. Т. III-4: Сборка машин /Ю.М. Соломенцев., А.А. Гусев и др.; Под общ. ред. Ю.М. Соломенцева. М.: Машиностроение, 2000.
3. Справочник технолога-машиностроителя; В 2 т. /Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Суслова. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 2001.

4. Технологическая наследственность в машиностроительном производстве/ А.М. Дальский, Б.М. Базров, А.С. Васильев и др.; Под ред. А.М. Дальского. М.: Изд-во МАИ, 2000.
5. Суслов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин. М.: Машиностроение, 2000.
6. Базров Б.М. Модульная технология в машиностроении. М.: Машиностроение, 2001

6. Технологии и машины обработки давлением

1. Теория обработки металлов давлением

Природа пластической деформации. Понятия о пластической деформации. Строение металлов. Холодная пластическая деформация монокристалла. Элементы теории дислокаций. Холодная пластическая деформация поликристалла. Упрочнение при холодной деформации. Кривые упрочнения. Влияние температуры и скорости деформации на процесс деформирования. Деформация при повышенных температурах; возврат и рекристаллизация. Виды деформации при обработке металлов давлением. Влияние температуры на сопротивление деформированию и пластичность. Влияние горячей деформации на свойства металла. Условие постоянства объема. Степень деформации на смещенный объем. Скорость деформации. Влияние скорости деформации на пластичность и сопротивление деформированию. Напряжения. Общие понятия. Напряжения в координатных площадках. Напряжения в наклонной площадке. Главные нормальные напряжения. Понятие о тензоре напряжений. Эллипсоид напряжений. Главные касательные напряжения. Октаэдрические напряжения. Диаграмма напряжений Мора. Условия равновесия для объемного напряженного состояния. Осесимметричное напряженное состояние. Плоское напряженное и плоское деформированное состояния («плоская задача»). Малые деформации и скорости деформаций. Компоненты перемещений и деформаций в элементарном объеме. Неразрывность деформаций. Скорости перемещений и скорости деформаций. Однородная деформация. Условие пластичности и основные предпосылки анализа процессов деформирования. Физический смысл условия пластичности. Геометрический смысл энергетического условия пластичности. Частные выражения условия пластичности. Влияние среднего по величине главного нормального напряжения. Связь между напряжениями и деформациями при пластическом деформировании. Механическая схема деформации. Принцип подобия. Контактное трение при пластическом деформировании. Принцип наименьшего сопротивления. Неравномерность деформаций и дополнительные напряжения. Методы определения деформирующих усилий и работ деформации. Общие положения. Решение дифференциальных уравнений равновесия совместно с условием пластичности. Основы метода расчета деформирующих усилий по приближенным уравнениям равновесия и условию пластичности. Метод линий скольжения. Понятие о методе верхней оценки. Метод сопротивления материалов пластическим деформациям. Метод баланса работ. Визуоэластический метод. Краткое сопоставление методов решения задач пластического деформирования.

2. Технологии обработки металлов давлением

Операции ковки и объемной штамповки. Осадка. Толстостенная труба под равномерным давлением. Вытяжка. Выдавливание. Прошивка. Объемная штамповка в открытых штампах.

Операции листовой штамповки. Гибка. Вытяжка без утонения стенки. Огбортовка.

Обжим. Вытяжка с утонением стенки. Вырубка и пробивка

3. Кузнечно-штамповочные машины

Кривошипные прессы. Типовые конструкции кривошипных прессов. Принцип действия. Классификация кривошипных прессов. Основные признаки для конструктивного подразделения кривошипных прессов. Универсальные листоштамповочные прессы простого действия. Вытяжные прессы двойного и тройного действия. Прессы тройного действия для чистовой вырубки. Листоштамповочные прессы-автоматы. Общие тенденции в развитии листоштамповочных прессов.

Гибочные прессы и автоматы. Кривошипные горячештамповочные прессы. Обрезные прессы. Чеканочные прессы и прессы для выдавливания. Горизонтально-ковочные машины. Прессы-автоматы для объемной штамповки. Прессы-автоматы для прессования деталей из металлических порошков. Ножницы. Прессы с кривошипно-коромысловым механизмом. Прессы с кривошипно-ползунным механизмом. Прессы с кривошипно-колеиным механизмом. Системы управления кривошипными прессами. Техника безопасности.

Гидравлические прессы. Принцип действия и классификация. Прессы дляковки. Прессы для объемной штамповки. Прессы для листовой штамповки. Прессы для разделки и ломки проката. Прессы для переработки пластмасс и неметаллических материалов. Типовые приводы гидравлических прессов.

Винтовые прессы. Принцип действия и классификация. Определение силовых параметров. Двухдисковые прессы. Динамический расчет двухдискового пресса. Винтовые прессы с муфтой включения. Электровинтовой пресс с дуговым статором. Параметры привода электровинтового пресса с дуговым статором. Гидровинтовой пресс.

Прессы с орбитально-вращающимся рабочим инструментом. Привод раскатной оловки. Гидравлический пресс с орбитально-вращающейся раскатной головкой. Прессы с соосно-вращающимся штамподержателем

Молоты. Принцип действия и классификация. Циклы подвижных частей. Типовые конструктивные схемы. Коэффициент полезного действия удара. Типы молотов и их применение. Требования к конструкции ковочных и штамповочных молотов. Станины. Шабот. Рабочий цилиндр с предохранительным устройством. Падающие части. Высокоскоростные газовые молоты. Высокоскоростные взрывные молоты. Общие сведения. Пневматические молоты. Механические молоты. Гидравлические молоты. Тенденции в развитии приводных молотов. Термомеханический расчет молотов бесшаботных паровоздушных молотов. Энергоносители паровоздушных и газовых молотов. Циклы молотовых установок. Методы термомеханического расчета паровоздушных молотов. Предполагаемое изменение параметров пара. Основные размеры цилиндра молота. Холостые качания падающих частей штамповочного молота. Рабочие ходы штамповочного молота. Скорости движения и число ударов молота. Коэффициент полезного действия паровоздушного молота. Расчет молота при работе на сжатом воздухе или перегретом паре.

Ротационные машины. Принцип действия и классификация. Гибочные машины. Правильные машины. Дисковые ножницы. Ковочные вальцы. Элементы расчета ротационно-валковых машин. Ротационно-ковочные машины. Радиально-обжимаемые машины.

Проектирование исполнительных механизмов кузнечно-штамповочных машин. Проектирование исполнительных механизмов вытяжных прессов двойного действия. Проектирование кулачкового механизма кривошипных прессов. Основы силового расчета. Расчет сил и крутящего момента в кривошипно-ползунном механизме. Силы и крутящий момент в кривошипно-коленном механизме чеканочного пресса. Силовой расчет балок и валов на упругом основании. Расчет коленчатого вала на усталостную прочность. Расчет зубчатых передач на усталостную прочность. Коэффициент долговечности. Условие прочности и номинальное усилие кривошипного пресса. Жесткость кривошипного пресса. Энергетические возможности кривошипных прессов. Графики деформирующей силы. Нагрузочные графики кривошипных прессов. Расход энергии в приводе кривошипного пресса. Выбор электродвигателя и маховика. Коэффициенты полезного действия кривошипного пресса. График работоспособности кривошипного пресса. Станины. Узлы

и детали привода. Узлы и детали главного исполнительного механизма. Трение в подшипниках и направляющих. Механизмы парораспределения и управления

Станины и фундаменты кузнечно-штамповочных машин. Подвижные поперечины. Рабочие и возвратные цилиндры. Стол. Фундаменты. Расчет основных технологических узлов и деталей кузнечно-штамповочных машин.

Рабочие жидкости кузнечно-штамповочных машин Характеристика рабочих жидкостей кузнечно-штамповочных машин. Основные понятия и уравнения гидродинамики. Уравнение Бернулли для течения жидкости в трубопроводе. Гидравлические сопротивления в трубопроводах. Ударные явления в гидроприводе прессовых установок. Насосы. Мультипликаторы. Распределительные и регулирующие устройства. Вспомогательные устройства. Уплотнительные устройства. Трубопроводы и арматура. Динамический расчет насосно-аккумуляторного привода. Расчет энергетических параметров насосно-аккумуляторного привода. Предварительный расчет основных параметров насосно-аккумуляторного привода. Расчет энергии, поглощаемой компенсаторами гидравлического удара. Системы смазывания.

4. Компьютерное моделирование процессов обработки давлением

Основные понятия САПР; этапы развития и роль в производственном процессе. САПР базовые компоненты. Модель проектирования технологических процессов. Модель проектирования штампов и кузнечно-штамповочного оборудования. Общие принципы построения САПР. Технические средства САПР, математическое, программное и лингвистическое обеспечение; обеспечение машинной графики. Языки для описания объекта проектирования. Инженерный анализ: виды анализа, подготовка схемы и математической модели, представление результатов. Специализированные интегрированные системы анализа. Многовариантный анализ и оптимизация. Интегрированные комплексы САПР. Характеристика специализированных систем.

Вопросы к экзамену:

1. Природа пластической деформации. Понятия о пластической деформации. Строение металлов.
2. Холодная пластическая деформация монокристалла.
3. Холодная пластическая деформация поликристалла.
4. Упрочнение при холодной деформации. Кривые упрочнения.
5. Влияние температуры и скорости деформации на процесс деформирования. Деформация при повышенных температурах; возврат и рекристаллизация. Виды деформации при обработке металлов давлением.
6. Влияние температуры на сопротивление деформированию и пластичность. Влияние горячей деформации на свойства металла.
7. Скорость деформации. Влияние скорости деформации на пластичность и сопротивление деформированию.
8. Напряжения. Напряжения в координатных площадках. Напряжения в наклонной площадке. Главные нормальные напряжения.
9. Понятие о тензоре напряжений. Эллипсоид напряжений. Главные касательные напряжения. Октаэдрические напряжения.
10. Диаграмма напряжений Мора. Условия равновесия для объемного напряженного состояния. Осесимметричное напряженное состояние. Плоское напряженное и плоское деформированное состояния («плоская задача»).
11. Малые деформации и скорости деформаций. Компоненты перемещений и деформаций в элементарном объеме. Неразрывность деформаций. Скорости перемещений и скорости деформаций. Однородная деформация.

12. Условие пластичности и основные предпосылки анализа процессов деформирования. Физический смысл условия пластичности. Геометрический смысл энергетического условия пластичности. Частные выражения условия пластичности.
13. Влияние среднего по величине главного нормального напряжения. Связь между напряжениями и деформациями при пластическом деформировании. Механическая схема деформации. Принцип подобия.
14. Контактное трение при пластическом деформировании. Принцип наименьшего сопротивления. Неравномерность деформаций и дополнительные напряжения.
15. Методы определения деформирующих усилий и работ деформации. Решение дифференциальных уравнений равновесия совместно с условием пластичности.
16. Основы метода расчета деформирующих усилий по приближенным уравнениям равновесия и условию пластичности.
17. Метод линий скольжения.
18. Метод сопротивления материалов пластическим деформациям.
19. Метод баланса работ.
20. Визеоластический метод.
21. Операцииковки и объемной штамповки
22. Операции листовой штамповки.
23. Кривошипные прессы.
24. Гибочные прессы и автоматы
25. Гидравлические прессы Винтовые прессы
26. Молоты
27. Ротационные машины.
28. Методы проектирования исполнительных механизмов кузнечно-штамповочных машин.
29. Станины и фундаменты кузнечно-штамповочных машин.
30. Рабочие жидкости кузнечно-штамповочных машин.
31. Основные понятия САПР; этапы развития и роль в производственном процессе. Базовые компоненты САПР. Общие принципы построения САПР.
32. Модель проектирования технологических процессов на основе САПР.
33. Модель проектирования штампов и кузнечно-штамповочного оборудования на основе САПР.
34. Технические средства САПР, математическое, программное и лингвистическое обеспечение; обеспечение машинной графики.
35. Языки для описания объекта проектирования.
36. Инженерный анализ: виды анализа, подготовка схемы и математической модели, представление результатов. Специализированные интегрированные системы анализа.
37. Многовариантный анализ и оптимизация.

Основная литература.

1. Живов Л.И., Овчинников А.Г., Складчиков Е.Н. Кузнечно-штамповочное оборудование. Учебник для вузов / Под ред. Л.И. Живова. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. - 560 с.
2. Холодная штамповка. Справочник / Л.Л. Григорьев, К.М. Иванов, Э.Е. Юргенсон. Под ред. Л.Л. Григорьева. -СПб.: Политехника, 2009. - 665с.
3. Ковка и штамповка: справочник. В 4т. [Т.]3: Холодная объемная штамповка. Штамповка металлических порошков / [Е. Г. Белков [и др.]] ; под ред. А. М. Дмитриева . 2010. - 348 с.
4. Ковка и штамповка: справочник. В 4т. Т.2. Горячая объемная штамповка. - 2-е изд., перераб. и доп. / Под общ. Ред. Е.И. Семенова. - М: Машиностроение, 2010. - 720 с:
5. Мамутов В.С., Мамутов А.В. Теория обработки металлов давлением. Компью-

терное моделирование процессов листовой штамповки: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во Политехи. Ун-та, 2006. 188 с.

6. Математические методы обработки экспериментальных данных. Учебное пособие / В.Н. Востров, П.А.Кузнецов, С.Н. Кункин, Э.Е. Юргенсон. - СПб.: Изд. ПИМаш, 2008. - 156 с.

Дополнительная литература.

1. Григорьев Л.Л. Технология производства штампов листовой и объемной штамповки: учеб. Пос. / Л.Л. Григорьев [и др.]; Балт. гос. техн. ун-т. - СПб, 2009. - 192 с..

2. Теория обработки металлов давлением: учебник для ВУЗов / В.А. Голенков, С.П. Яковлев, С.А. Головин и др.; под ред. Е. Голенкова, С.П. Яковлева. - Машиностроение, 2009. - 442 с: ил.

3. Попов Е.А., Ковалев В.Г., Шубин И.Н. Технология и автоматизация листовой штамповки. Учебник для ВУЗов. М.: Изд. МГТУ, 2003. - 480с.

4. Мансуров И.З., Подрабинник И.М. Специальные кузнечно-прессовые машины и автоматизированные комплексы кузнечно-штамповочного производства: Справочник. - М.: Машиностроение, 1990. - 344 с.

5. Производственный менеджмент : учеб. для вузов / [В. А. Козловский [и др.]] ; Санкт-Петербургский государственный университет; под ред. В.А.Козловский. - М.: ИНФРА-М, 2003. - 573 с.

7. Сварка, родственные процессы и технологии

Программа основана на дисциплинах, рассматривающих металлургические и физико-химические процессы в материалах при сварке, наплавке, пайке, нанесении покрытий, термической резке и других родственных процессах, фазовые и структурные превращения, образование соединений и формирование их свойств; технологические основы сварки плавлением и давлением, а также компьютерное моделирование физических и технологических процессов при сварке, методы проектирования надежных сварных конструкций, технологии сварочного производства, оборудование для сварки, резки, пайки, наплавки, нанесения покрытий, склеивания; методы управления параметрами технологических процессов для обеспечения надлежащего качества сварных соединений.

1. Теоретические основы сварки, наплавки и нанесения покрытий

Природа образования соединений при сварке. Классификация процессов сварки. Источники энергии для сварки, их обобщенные характеристики.

Строение, виды и области применения электрической сварочной дуги. Основные процессы в столбе дуги. Физические явления в приэлектродных областях дуги. Закономерности плавления и испарения металлических электродов. Перенос металла в дуге. Общие условия устойчивости электрической дуги. Саморегулирование дуги с плавящимся электродом. Действие магнитных полей на дугу, их использование для управления дугой и процессами сварки. Особенности дуг, питаемых переменным и импульсным токами. Трехфазная дуга. Дуга под флюсом, дуга под водой. Сжатые дуги. Параметры режима дуговой сварки и их влияние на форму ванны и размеры шва.

Лучевые источники нагрева, их виды, особенности и области применения. Электронный луч, как источник энергии. Принцип сварки электронным лучом в вакууме. Общие схемы формирования электронных пучков. Электронные пушки, их составные части и принципы действия. Способы управления мощностью и ее концентрацией в электронных пучках. Управление положением пучков в пространстве. Процессы плавления металлов электронными пучками, КПД процессов.

Лазерный луч как источник нагрева при сварке, резке и термической обработке. Пространственные характеристики реальных лазерных пучков. Физические процессы формирования излучения лазеров. Виды лазеров. Особенности газовых лазеров. Структурная схема СО₂-лазера. Процессы, ограничивающие мощность СО₂-лазеров и ее стабильность. Лазеры на оптоволокне. Конструкция оптических волокон, используемых в этих лазерах. Принцип работы Nd:YAG лазера. Принципиальная конструкция Nd:YAG лазера. Достижения и проблемы электронно-лучевой и лазерной сварки. Физические процессы происходящие при взаимодействии лазерного излучения с веществом. Энергетические параметры процессов обработки КПЭ. Непрерывный режим генерации. Импульсно-периодический режим генерации. Влияние параметров обработки КПЭ на механические и эксплуатационные свойства.

Специальные виды сварки. Электрошлаковый нагрев. Энергетические процессы в шлаковой и металлической ваннах. Электроконтактный нагрев и плавление металлов. Физические процессы в сварочных контактах соединяемых заготовок. Сварка взрывом. Диффузионная сварка. Сварка трением. Холодная и ультразвуковая сварка.

Родственные технологии. Пайка, наплавка, напыление. Природа образования соединений при пайке. Классификация технологических процессов нанесения защитных покрытий. Основные процессы газопламенного и детонационного напыления. Физические особенности дуговой металлизации и плазменного напыления. Процессы вакуумных покрытий.

Научные основы анализа физико-химических процессов при сварке, наплавке и нанесении покрытий. Равновесная и неравновесная термодинамика. Химическая кинетика.

Свариваемость материалов. Показатели свариваемости.

Металлургические процессы при сварке, наплавке и нанесении покрытий. Взаимодействие металлов, шлаков и газов. Газы в сварных соединениях.

Основные характеристики тепловых процессов. Модели источников тепла, объектов сварки, наплавки. Дифференциальное уравнение теплопроводности, основные краевые условия, учитываемые при его решении. Расчет температурных полей при нагреве тел движущимися сосредоточенными точечными и линейными источниками тепла. Особенности нагрева пластин мощными быстро движущимися источниками. Методы расчета температурных полей при нагреве тел распределенными источниками теплоты. Вычисление скоростей охлаждения в различных точках тел, нагреваемых движущимися источниками.

Термические циклы при однопроходной и многослойной сварке и наплавке. Плавление основного металла, длина жидкой ванны. Тепловая эффективность процессов сварки, наплавки и нанесения покрытий. Нагрев и плавление присадочных материалов.

Кристаллизация металла при сварке, наплавке и нанесении покрытий. Природа химической и физической неоднородности соединений металлов. Горячие трещины при сварке. Методы оценки сопротивляемости металлов образованию горячих трещин. Способы предотвращения горячих трещин. Особенности структуры зоны термического влияния в сварных соединениях. Фазовые и структурные превращения при сварке конструкционных сталей. Природа холодных трещин. Методы оценки сопротивляемости металлов образованию холодных трещин. Способы предотвращения холодных трещин.

Деформации и напряжения при неравномерном нагреве. Механизм возникновения напряженного состояния при сварке, наплавке и нанесении покрытий. Приближенная теория сварочных деформаций и напряжений.

Методы математического и компьютерного моделирования процессов сварки, пайки, наплавки, напыления и резки.

Технология сварки, наплавки-нанесения покрытий, пайки и склеивания

Технология сварки, наплавки и нанесения покрытий плавлением.

Классификация процессов сварки плавлением. Технология сварки и наплавки покрытыми электродами. Технология автоматической и механизированной сварки. Наплавка и нанесение покрытий.

Технология сварки низкоуглеродистых, низколегированных и среднелегированных конструкционных сталей. Технология сварки высоколегированных сталей и сплавов мартенситного, ферритного и аустенитного классов. Технология сварки разнородных сталей одного структурного класса и разных структурных классов. Технология сварки чугуна. Технология сварки меди и ее сплавов, алюминия, магния и их сплавов, никеля и его сплавов, титана и его сплавов. Особенности сварки тугоплавких и химически активных металлов.

Технология сварки разнородных металлов и сплавов. Особенности технологии и техники сварки стали с алюминием, медью, титаном и их сплавами. Влияние режимов сварки на форму и состав швов.

Классификация лазерных технологических установок для сварки, резки, термообработки, наплавки, маркировки. Технические требования к технологическим установкам для обработки КПЭ. Технические характеристики лазерных технологических установок. Требования по назначению. Требования по надежности. Требования по эксплуатации, удобству технического обслуживания. Требования по безопасности.

Технология наплавки. Формирование свойств наплавленного металла, метод его легирования.

Технология электрошлаковой сварки и наплавки конструкций из углеродистых и легированных сталей. Технология электрошлаковой сварки легких и цветных металлов и сплавов.

Особенности технологии лучевых методов сварки.

Дефекты сварных соединений. Поры в сварных швах. Неметаллические включения в швах. Прочие дефекты сварных соединений.

Технология контактной, холодной, ультразвуковой сварки, сварки взрывом и трением

Классификация способов контактной сварки. Условия формирования сварных соединений при точечной и шовной сварке. Особенности формирования соединений при стыковой сварке.

Выбор режимов и технология сварки конструкционных материалов при точечной и шовной сварке. Технология стыковой сварки.

Технология сварки токами высокой частоты.

Технология и области применения холодной сварки.

Технология и области применения ультразвуковой сварки.

Технология сварки взрывом крупногабаритных листов.

Технология сварки трением.

Технология сварки пластмасс.

Технология газопламенного и детонационного нанесения покрытий. Основные операции дуговой металлизации и плазменного напыления. Техника и технология вакуумных покрытий.

Технология пайки металлов

Пайка металлов. Теоретические основы пайки металлов. Сущность процесса пайки металлов. Физические процессы при пайке. Диффузионное и химическое взаимодействие припоя с паяемым металлом. Способы удаления поверхностных пленок и восстановление оксидов при пайке.

Припой. Классификация припоев по химическому составу, температуре плавления и механическим свойствам. Наиболее распространенные группы припоев.

Флюсы. Назначение, требования к флюсам. Виды флюсов и их классификация. Типы паяных соединений. Расчет прочности паяных соединений. Технология пайки различных металлов и сплавов. Методы контроля паяных соединений.

Технология склеивания металлов и пластмасс

Современное представление о механизме процесса склеивания. Классификация клеев. Наиболее распространенные клеи на основе терморезистивных и термопластичных полимеров. Преимущества и недостатки клеевых соединений. Основные операции технологического процесса склеивания металлов. Прочность соединений. Принципы конструирования клеевых конструкций. Клеесварные конструкции. Методы контроля клеевых соединений.

Сварные конструкции

Деформации и напряжения, вызываемые процессами сварки, наплавки и нанесения покрытий. Концентрация напряжений в сварных соединениях. Влияние дефектов на механические свойства сварных соединений и их работоспособность.

Остаточные напряжения в сварных соединениях. Деформации, напряжения и перемещения в элементах сварных конструкций, экспериментальные и расчетные методы их определения. Методы снижения напряжений и деформаций при сварке и наплавке.

Прочность сварных соединений при статических нагрузках. Прочность при переменных нагрузках. Причины хрупких разрушений сварных конструкций.

Принципы расчета и проектирования сварных соединений и конструкций. Применение компьютерной техники в расчетах и проектировании металлоконструкции. Влияние технологии изготовления балок на их несущую способность.

Напряженное состояние узлов ферм. Влияние технологии изготовления решетчатых конструкций на их служебные характеристики.

Напряжения и деформации в листовых конструкциях. Особенности конструкции котлов и сосудов, их напряженное состояние. Основы расчета и проектирования труб и трубопроводов. Требования и технологии изготовления емкостей и труб.

Специфика сварных деталей машин. Принципы проектирования сварных конструкций из цветных металлов и пластмасс.

Методы повышения прочности сварных конструкций при переменных нагрузках. Прочность сварных соединений при высоких и низких температурах.

Вероятностные методы оценки прочности сварных конструкций.

Механизация и автоматизация технологических операций сварки, наплавки и нанесения покрытий

Классификация процессов и операций сварки, наплавки и нанесения покрытий как объектов механизации и автоматизации. Схемы современных систем автоматизации дуговых методов сварки и наплавки.

Принципы автоматизации контактной сварки. Автоматические системы в электрошлаковой сварке и наплавке.

Принципы механизации и автоматизации заготовительных операций. Современные средства механизации и автоматизации транспортных операций. Схемы механизированных сборочно-сварочных поточных линий. Автоматические сборочно-сварочные линии.

Требования, предъявляемые к промышленным роботам для сварки, наплавки и нанесения покрытий. Типы промышленных роботов. Общие характеристики роботов и их основных блоков. Адаптивные роботы. Автоматические линии и участки роботов. Технико-экономическая эффективность применения роботов. Перспективы применения роботов в сварочном производстве.

Система автоматизированного проектирования технологии сварки (САПР ТС). Структура САПР. Программное обеспечение и аппаратные средства реализации. Выход окончательной продукции САПР.

Контроль качества сварки, наплавки и нанесения покрытий

Технологические и конструктивные методы повышения качества сварки, наплавки и нанесения покрытий, способы их обеспечения и контроля. Дефекты и уровни дефектности сварных соединений.

Классификация методов контроля качества сварки, наплавки и нанесения покрытий.

Методы неразрушающего контроля качества металлов, швов, наплавки и покрытий. Физические основы и разновидности магнитных и электромагнитных методов контроля, техника и технология их применения.

Основы и классификация радиационных методов контроля.

Источники рентгеновского и гамма-излучения, их конструкции, аппаратура и приспособления для управления. Радиографический контроль.

Методы дозиметрии и обеспечения безопасности.

Физические основы, классификация ультразвуковых методов контроля. Приборы и оптимальные параметры ультразвукового контроля. Технология ультразвукового контроля, методы измерения дефектов.

Принципы, классификация и технология капиллярных методов контроля.

Методы контроля непроницаемости. Течеискатели.

Механические испытания качества сварки, наплавки и нанесения покрытий. Металлография, химический анализ и коррозионные испытания сварных соединений, наплавки и покрытий.

Средства механизации, автоматизации и обработки результатов контроля качества изделий.

Основные понятия статистического управления качеством.

Вероятностные схемы-модели оценки качества сварки, наплавки и нанесения покрытия, статистическое регулирование качества.

Методы организации и управления качеством технологических сварочных процессов.

Вопросы к экзамену:

Теоретические основы сварки, наплавки и нанесения покрытий

- 1) Природа образования соединений при сварке.
- 2) Классификация процессов сварки. Источники энергии для сварки, их обобщенные характеристики.
- 3) Строение, виды и области применения электрической сварочной дуги.
- 4) Основные процессы в столбе дуги. Напряженность поля, плотность тока и концентрация мощности в столбе дуги.
- 5) Влияние газовых потоков и пинч-эффекта на энергетические и технологические характеристики столба дуги
- 6) Физические явления в приэлектродных областях дуги. Процессы, определяющие мощность и ее концентрацию у электродов дуги. Закономерности плавления и испарения металлических электродов. Перенос металла в дуге.
- 7) Общие условия устойчивости электрической дуги. Саморегулирование дуги с плавящимся электродом. Действие магнитных полей на дугу, их использование для управления дугой и процессами сварки. Особенности дуг, питаемых переменным и импульсным токами.
- 8) Трехфазная дуга. Дуга под флюсом, дуга под водой. Сжатые дуги.
- 9) Параметры режима дуговой сварки и их влияние на форму сварочной ванны и размеры шва.
- 10) Лучевые источники нагрева, их виды, особенности и области применения.
- 11) Электронный луч, как источник энергии. Принцип сварки электронным лучом в вакууме.
- 12) Общие схемы формирования электронных пучков. Электронные пушки, их составные части и принципы действия.
- 13) Способы управления мощностью и ее концентрацией в электронных пучках. Управление положением пучков в пространстве. Процессы плавления металлов электронными пучками, КПД процессов.
- 14) Лазерный луч как источник нагрева при сварке, резке и термической обработке. Пространственные характеристики реальных лазерных пучков.
- 15) Физические процессы формирования излучения лазеров. Виды лазеров.
- 16) Особенности газовых лазеров. Структурная схема CO₂-лазера. Процессы, ограничивающие мощность CO₂-лазеров и ее стабильность.
- 17) Лазеры на оптоволокне. Конструкция оптических волокон, используемых в этих лазерах.
- 18) Принцип работы Nd:YAG лазера. Принципиальная конструкция Nd:YAG лазера.
- 19) Достижения и проблемы электронно-лучевой и лазерной сварки.
- 20) Электрошлаковый нагрев. Энергетические процессы в шлаковой и металлической ваннах. Условия устойчивости электрошлакового процесса, физико-химические процессы при электрошлаковой сварке.
- 21) Электроконтактный нагрев и плавление металлов. Физические процессы в сварочных контактах соединяемых заготовок.
- 22) Принципиальные схемы сварки взрывом. Условия образования соединений при сварке взрывом.
- 23) Физические процессы при диффузионной сварке. Механизм образования сварных соединений при диффузионной сварке.
- 24) Нагрев при трении. Процессы сварки трением.
- 25) Явления при холодной и ультразвуковой сварке.
- 26) Природа образования соединений при пайке.
- 27) Классификация технологических процессов нанесения защитных покрытий.

28) Основные процессы газопламенного и детонационного напыления. Физические особенности дуговой металлизации и плазменного напыления. Процессы вакуумных покрытий.

29) Научные основы анализа физико-химических процессов при сварке, наплавке и нанесении покрытий. Первый закон термодинамики. Расчет параметров состояния систем при различных изопротессах.

30) Второй закон термодинамики. Термодинамический потенциал, его использование в анализе процессов. Условия и характеристики равновесия в гомогенной среде. Определение химического сродства компонентов.

31) Третий закон термодинамики, его применение в анализе химического равновесия гетерогенных систем.

32) Основы неравновесной термодинамики.

33) Свариваемость материалов. Показатели свариваемости.

34) Металлургические процессы при сварке, наплавке и нанесении покрытий. Взаимодействие металлов, шлаков и газов. Газы в сварных соединениях.

35) Основные характеристики тепловых процессов. Модели источников тепла, объектов сварки, наплавки. Дифференциальное уравнение теплопроводности, основные краевые условия, учитываемые при его решении.

36) Металлургические процессы при сварке, наплавке и нанесении покрытий. Взаимодействие металлов, шлаков и газов. Газы в сварных соединениях.

37) Основные характеристики тепловых процессов. Модели источников тепла, объектов сварки, наплавки. Дифференциальное уравнение теплопроводности, основные краевые условия, учитываемые при его решении.

38) Расчет температурных полей при нагреве тел движущимися сосредоточенными точечными и линейными источниками тепла. Особенности нагрева пластин мощными быстро движущимися источниками. Методы расчета температурных полей при нагреве тел распределенными источниками теплоты. Вычисление скоростей охлаждения в различных точках тел, нагреваемых движущимися источниками.

39) Термические циклы при однопроходной и многослойной сварке и наплавке. Плавление основного металла, длина жидкой ванны. Тепловая эффективность процессов сварки, наплавки и нанесения покрытий. Нагрев и плавление присадочных материалов.

40) Кристаллизация металла при сварке, наплавке и нанесении покрытий. Природа химической и физической неоднородности соединений металлов.

41) Горячие трещины при сварке. Методы оценки сопротивляемости металлов образованию горячих трещин. Способы предотвращения горячих трещин.

42) Особенности структуры зоны термического влияния в сварных соединениях. Фазовые и структурные превращения при сварке конструкционных сталей.

43) Природа холодных трещин. Методы оценки сопротивляемости металлов образованию холодных трещин. Способы предотвращения холодных трещин.

44) Деформации и напряжения при неравномерном нагреве. Механизм возникновения напряженного состояния при сварке, наплавке и нанесении покрытий. Приближенная теория сварочных деформаций и напряжений.

45) Методы математического и компьютерного моделирования процессов сварки, пайки, наплавки, напыления и резки.

Технология сварки, наплавки, нанесения покрытий, пайки и склеивания

46) Технология сварки, наплавки и нанесения покрытий плавлением.

47) Классификация процессов сварки плавлением. Технология сварки и наплавки покрытыми электродами. Технология автоматической и механизированной сварки. Наплавка и нанесение покрытий.

48) Технология сварки низкоуглеродистых, низколегированных и среднелегированных конструкционных сталей. Технология сварки высоколегированных сталей и сплавов мартенситного, ферритного и аустенитного классов. Технология сварки разно-

родных сталей одного структурного класса и разных структурных классов. Технология сварки чугуна. Технология сварки меди и ее сплавов, алюминия, магния и их сплавов, никеля и его сплавов, титана и его сплавов. Особенности сварки тугоплавких и химически активных металлов.

49) Технология сварки разнородных металлов и сплавов. Особенности технологии и техники сварки стали с алюминием, медью, титаном и их сплавами. Влияние режимов сварки на форму и состав швов.

50) Технология наплавки. Формирование свойств наплавленного металла, метод его легирования.

51) Технология электрошлаковой сварки и наплавки конструкций из углеродистых и легированных сталей. Технология электрошлаковой сварки легких и цветных металлов и сплавов.

52) Особенности технологии лучевых методов сварки.

53) Дефекты сварных соединений. Поры в сварных швах. Неметаллические включения в швах. Прочие дефекты сварных соединений.

54) Технология контактной, холодной, ультразвуковой сварки, сварки взрывом и трением

55) Классификация способов контактной сварки. Условия формирования сварных соединений при точечной и шовной сварке. Особенности формирования соединений при стыковой сварке.

56) Выбор режимов и технология сварки конструкционных материалов при точечной и шовной сварке. Технология стыковой сварки.

57) Технология сварки токами высокой частоты.

58) Технология и области применения холодной сварки.

59) Технология и области применения ультразвуковой сварки.

60) Технология сварки взрывом крупногабаритных листов.

61) Технология сварки трением.

62) Технология сварки пластмасс.

63) Технология газопламенного и детонационного нанесения покрытий. Основные операции дуговой металлизации и плазменного напыления. Техника и технология вакуумных покрытий.

64) Технология пайки металлов

65) Пайка металлов. Теоретические основы пайки металлов. Сущность процесса пайки металлов. Физические процессы при пайке. Диффузионное и химическое взаимодействие припоя с паяемым металлом. Способы удаления поверхностных пленок и восстановление оксидов при пайке.

66) Припой. Классификация припоев по химическому составу, температуре плавления и механическим свойствам. Наиболее распространенные группы припоев.

67) Флюсы для пайки. Назначение, требования к флюсам. Виды флюсов и их классификация. Типы паяных соединений. Расчет прочности паяных соединений. Технология пайки различных металлов и сплавов. Методы контроля паяных соединений.

68) Технология склеивания металлов и пластмасс.

69) Современное представление о механизме процесса склеивания. Классификация клеев. Наиболее распространенные клеи на основе терморезистивных и термопластичных полимеров. Преимущества и недостатки клеевых соединений. Основные операции технологического процесса склеивания металлов. Прочность соединений. Принципы конструирования клеевых конструкций. Клеесварные конструкции. Методы контроля клеевых соединений.

Сварные конструкции

70) Деформации и напряжения, вызываемые процессами сварки, наплавки и нанесения покрытий. Концентрация напряжений в сварных соединениях. Влияние дефектов на механические свойства сварных соединений и их работоспособность.

71) Остаточные напряжения в сварных соединениях. Деформации, напряжения и перемещения в элементах сварных конструкций, экспериментальные и расчетные методы их определения. Методы снижения напряжений и деформаций при сварке и наплавке.

72) Прочность сварных соединений при статических нагрузках. Прочность при переменных нагрузках. Причины хрупких разрушений сварных конструкций.

73) Принципы расчета и проектирования сварных соединений и конструкций. Применение компьютерной техники в расчетах и проектировании металлоконструкций. Влияние технологии изготовления балок на их несущую способность.

74) Напряженное состояние узлов ферм. Влияние технологии изготовления решетчатых конструкций на их служебные характеристики.

75) Напряжения и деформации в листовых конструкциях. Особенности конструкции котлов и сосудов, их напряженное состояние. Основы расчета и проектирования труб и трубопроводов. Требования и технологии изготовления емкостей и труб.

76) Специфика сварных деталей машин. Принципы проектирования сварных конструкций из цветных металлов и пластмасс.

77) Методы повышения прочности сварных конструкций при переменных нагрузках. Прочность сварных соединений при высоких и низких температурах.

78) Вероятностные методы оценки прочности сварных конструкций.

Механизация и автоматизация технологических операций сварки, наплавки и нанесения покрытий

79) Классификация процессов и операций сварки, наплавки и нанесения покрытий как объектов механизации и автоматизации. Схемы современных систем автоматизации дуговых методов сварки и наплавки.

80) Принципы автоматизации контактной сварки. Автоматические системы в электрошлаковой сварке и наплавке.

81) Принципы механизации и автоматизации заготовительных операций. Современные средства механизации и автоматизации транспортных операций. Схемы механизированных сборочно-сварочных поточных линий. Автоматические сборочно-сварочные линии.

82) Требования, предъявляемые к промышленным роботам для сварки, наплавки и нанесения покрытий. Типы промышленных роботов. Общие характеристики роботов и их основных блоков. Адаптивные роботы. Автоматические линии и участки роботов. Технико-экономическая эффективность применения роботов. Перспективы применения роботов в сварочном производстве.

83) Система автоматизированного проектирования технологии сварки (САПР ТС). Структура САПР. Программное обеспечение и аппаратные средства реализации. Выход окончательной продукции САПР.

Контроль качества сварки, наплавки и нанесения покрытий

84) Технологические и конструктивные методы повышения качества сварки, наплавки и нанесения покрытий, способы их обеспечения и контроля. Дефекты и уровни дефектности сварных соединений.

85) Классификация методов контроля качества сварки, наплавки и нанесения покрытий.

86) Методы неразрушающего контроля качества металлов, швов, наплавки и покрытий.

87) Физические основы и разновидности магнитных и электромагнитных методов контроля, техника и технология их применения.

88) Основы и классификация радиационных методов контроля.

89) Источники рентгеновского и гамма-излучения, их конструкции, аппаратура и приспособления для управления. Радиографический контроль.

90) Методы дозиметрии и обеспечения безопасности.

- 91) Физические основы, классификация ультразвуковых методов контроля. Приборы и оптимальные параметры ультразвукового контроля. Технология ультразвукового контроля, методы измерения дефектов.
- 92) Принципы, классификация и технология капиллярных методов контроля.
- 93) Методы контроля непроницаемости. Течеискатели.
- 94) Механические испытания качества сварки, наплавки и нанесения покрытий. Металлография, химический анализ и коррозионные испытания сварных соединений, наплавки и покрытий.
- 95) Средства механизации, автоматизации и обработки результатов контроля качества изделий.
- 96) Основные понятия статистического управления качеством.
- 97) Вероятностные схемы-модели оценки качества сварки, наплавки и нанесения покрытия, статистическое регулирование качества.
- 98) Методы организации и управления качеством технологических сварочных процессов.

Основная литература

1. Теория сварочных процессов: учебник /А.В. Коновалов [и др.]; под общ. ред. В.М. Неровного. – М.: МГТУ, 2007. – 752 с.
2. Петров, Г.Л. Теория сварочных процессов (с основами физической химии): учеб. для вузов. / Г.Л. Петров, А.С. Тумарев. – 2-е изд. – М.: Высш. шк., 1977. – 392 с.
3. Теоретические основы сварки / Под ред. В.В.Фролова. М.: Высш. школа, 1970.
4. Ерохин, А.А. Основы сварки плавлением. Физико-химические закономерности / А.А. Ерохин. – М.: Машиностроение, 1973. – 448 с.
5. Гривняк, И. Свариваемость сталей / И.Гривняк; пер. Л.С. Гончаренко; под ред. Э.Л. Макарова. – М.: Машиностроение, 1984. – 216 с.
6. Лившиц, Л.С. Металловедение сварки и термической обработки сварных соединений / Л.С. Лившиц, А.Н. Хахимов - 2-е изд. – М.: Машиностроение, 1989. – 336 с.
7. Сварка и свариваемые материалы: в 3 т. Т.1. Свариваемость материалов: Справ. изд. / Под ред. Э.Л. Макарова. М.: Металлургия, 1991.
8. Металлургия дуговой сварки. Взаимодействие металла с газами / И.К. Походня [и др.]; под ред. И.К. Походни. – Киев: Наукова думка, 2004. - 441 с.
9. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / Под ред. акад. Б.Е. Патона. – М.: Машиностроение, 1974. – 768 с.
10. Акулов А.И., Бельчук Г.А., Демянцевич В.Г. Технология и оборудование электрической сварки плавлением. М.: Машиностроение, 1977.
11. Макаров Э.Л. Холодные трещины при сварке легированных сталей. М.: Машиностроение, 1981.
12. Соснин Н.А., Ермаков С.А., Тополянский П.А. Плазменные технологии. Руководство для инженеров. Изд-во Политехнического ун-та. СПб.: 2008. 406 с.
13. Зуев И.В. Обработка материалов концентрированными потоками энергии. М.: Издательство МЭИ, 1998.
14. Теория, технология и оборудование диффузионной сварки: Учебник для вузов /В.А. Бачин, В.Ф. Квасницкий, Д.И. Котельников и др.; под ред. В.А. Бачина. М.: Машиностроение, 1991.
15. Лашко С.В., Врублевский Е.И. Технология пайки изделий в машиностроении: Справочник проектировщика. М.: Машиностроение. 1993.
16. Волков С.С. Сварка и склеивание полимерных материалов: Учеб. пособие для вузов. М.: Химия, 2001.
17. Хасуи А., Моригаки О. Наплавка и напыление / Пер. с японского под ред. В.В. Степина М.: Машиностроение, 1985.

18. Оборудование для контактной сварки: Справочное пособие /Под ред. В.В. Смирнова. СПб.: Энергоатомиздат, 2000.
19. Кочергин К.А. Контактная сварка. Л.: Машиностроение, 1987.
20. Кудинов В.В., Бобров Г.Д. Нанесение покрытий напылением. Теория, технология и оборудование: Учеб. для вузов. М.: Металлургия.1992.
21. Копельман Л.А. Основы теории прочности сварных конструкций, Л: изд. СПбГПУ, 2007. 34,75 печ.л.
22. Николаев Г.А., Винокуров В.А., Сварные конструкции. Расчет и проектирование: Учебник для вузов. М.: Высш. школа, 1990.
23. Куркин С.А., Николаев Г.А. Сварные конструкции. Технология изготовления, механизация, автоматизация: Учебник для вузов. М.: Высш. школа. 1991.
24. Сварные конструкции. Механика разрушения и критерии работоспособности / В.А. Винокуров, С.А. Куркин, Г.А. Николаев; Под ред. Б.Е. Патона. М.: Машиностроение, 1996.
25. Львов Н.С., Гладков Э.А. Автоматика и автоматизация сварочных процессов. М.: Машиностроение, 1982.
26. Алешин Н.П., Щербинский В.Г. Контроль качества сварочных работ. М.: Высш. школа, 1986.
27. Щербинский В.Г., Алешин Н.П. Ультразвуковой контроль сварных соединений.-3-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во МГТУ, 2000.

Дополнительная литература

1. Новожилов, Н.М. Основы металлургии дуговой сварки в газах / Н.М. Новожилов. – М.: Машиностроение, 1979. – 231 с.
2. Сварка в СССР. Т. 1. Технологические процессы, сварочные материалы и оборудование. М.: Наука,1981.
3. Сварка в СССР. Т. 2. Теоретические основы сварки, прочности и проектирования. М.: Наука, 1982.
4. Сварка трением: Справочник / Под ред. В.К. Лебедева, И.А. Черненко, В.И. Вилля. Л.: Машиностроение. 1987.
5. Сварка и сварочные материалы: в 3-х т. Т.2. Технология и оборудование. Справ.изд. / Под ред. В.М. Ямпольского. М.: Изд-во МГТУ. 1966.
6. Стеклов О.И. Стойкость материалов и конструкций к коррозии под напряжением. М.: Машиностроение, 1990.
7. Сварка в машиностроении: справочник в 4-х т. / редкол.: Г.А. Николаев (гл. ред.) [и др.]; – М.: Машиностроение, 1978 - 1979. – Т. 4.
8. Жизняков, С.Н. Ручная дуговая сварка. Материалы, оборудование, технология / С.Н. Жизняков, З.А. Сидлин. – М.:ЦТТ ИЭС им. Е.О. Патона, 2007. – 360 с.
9. Николаев Г.А. Ольшанский Н.А. Специальные методы сварки. М.: Машиностроение, 1975.
10. Холопов Ю.В. Ультразвуковая сварка пластмасс и металлов.- Л.: Машиностроение, 1988.
11. Технология и оборудование сварки плавлением: учеб. для вузов по спец. «Оборудование и технология сварочного производства» / Г.Д. Никифоров [и др.]; под ред. Г.Д. Никифорова. - 2-е изд. – М.: Машиностроение, 1986. – 320 с.
12. Еремин Е.Н. Плазменно-дуговые технологические процессы в сварочном производстве. Учеб. пособие. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2000.
13. Машиностроение: Энциклопедия /Ред.совет: К.В.Фролов (пред.) и др. М.: Машиностроение. Оборудование для сварки. Т.4-6 / В.К. Лебедев, С.И. Кучук-Яценко, А.И. Чвертко и др.; Под. ред. Б.Е. Патона. 1999.
14. Сварка в самолетостроении: Учеб. пособие / В.А. Саликов, М.Н. Шушпанов, А.Б. Коломенский и др. Воронеж. Изд-во ВГТУ, 2001.

15. Бердичевский А.Е., Холмянский Е.Н. Оборудование для электрической контактной сварки. СПб, 2002
16. Волков С.С., Черняк Б.Я. Сварка пластмасс ультразвуком. М.: Химия, 1986.
17. Волков С.С., Гирш В.И. Склеивание и напыление пластмасс. М.; Химия, 1988.
18. Патон Б.Е., Спыну Г.А., Тимошенко В.Г. Промышленные роботы для сварки. Киев: Наукова думка, 1977.
19. Махненко В.И. Расчетные методы исследования кинетики сварочных напряжений и деформаций. Киев: Наукова думка, 1976.
20. Николаев Г.А., Куркин С.А., Винокуров В.А. Сварные конструкции. Прочность сварных соединений и деформаций конструкций. М.: Высш. школа. 1982.
21. Копельман Л.А. Сопротивляемость сварных узлов хрупкому разрушению. Л.: Машиностроение, 1978.

8. Теория механизмов и машин

1. Введение. Становление и развитие теории механизмов и машин

Задача науки о механизмах. Основные этапы ее исторического развития. Выдающиеся отечественные и зарубежные ученые, внесшие значительный вклад в развитие науки. Место теории механизмов среди других наук о механике. Основные области ее приложения. Современные направления и тенденции развития теории механизмов и машин.

Понятие машины. Характеристики двигателей и рабочих машин. Комбинированные механизмы с гидравлическими, пневматическими и электромагнитными устройствами.

2. Анализ и синтез механизмов (общие положения)

Структура механизмов. Классификация кинематических пар. Структурные группы. Структурная классификация механизмов. Методы анализа структуры. Структурные формулы. Понятие об избыточных связях и основных методах их выявления. Подходы к обеспечению рациональной структуры механизмов. Структурный синтез.

Основные задачи кинематического анализа механизмов. Решение задачи о положениях и методы определения скоростей и ускорений в плоских механизмах с низшими парами (аналитические и графо-аналитические методы). Понятие о сборках механизма. Мертвые, вырожденные и особые положения механизмов. Подходы к кинематическому исследованию пространственных механизмов. Понятие о передаточных функциях. Основные приемы решения задач кинематики для механизмов высоких классов. Специализированные пакеты программ и вычислительные комплексы общего назначения для решения задач кинематики. Способы оценки точности воспроизводимых функций.

Задачи и основные этапы синтеза механизмов с низшими кинематическими парами. Передаточные, манипулирующие и нагрузочные механизмы. Методы решения задач синтеза. Задача приближенного синтеза, как задача оптимального проектирования. Целевые функции и основные ограничения.

Анализ механизмов с высшими кинематическими парами. Основная теорема зацепления. Основные методы синтеза сопряженных профилей звеньев механизмов в высшей паре. Плоские и пространственные зубчатые зацепления. Зубчатые и зубчато-рычажные механизмы. Кулачковые механизмы, их основные виды. Методы оптимального проектирования кулачковых механизмов.

3. Силовой анализ механизмов

Трение в кинематических парах. Влияние геометрических и физических характеристик элементов пары и смазочных материалов на величину трения и износа в паре.

Определение сил реакций в кинематических парах с учетом и без учета трения. Кинетостатика отдельных кинематических групп и всего механизма в целом. Явление самоторможения. Оценка качества механизма с помощью анализа углов давления.

Работа сил трения. КПД машин циклического действия. Определение КПД механизмов и их соединений. Понятие циркулирующего энергетического потока в замкнутых испытательных стендах и замкнутых механических передачах.

Виды неуравновешенности механизмов. Полное и частичное статические уравновешивания рычажных механизмов. Неуравновешенность роторов и методы их балансировки.

4. Динамика машин

Понятие динамической модели машинного агрегата. Приведение сил и масс. Уравнение движения машины. Исследование движения машины на установившихся и переходных режимах. Способы получения заданных инерционно-массовых характеристик машины.

Методы динамического анализа механизмов с несколькими степенями свободы. Учет упругих свойств звеньев и демпфирующих свойств кинематических пар. Анализ механических систем с переменными массами звеньев. Особенности учета трения при анализе динамики машин.

5. Механические системы управления движением машин

Последовательность работы отдельных элементов сложных машин. Циклограммы и тактограммы. Механические системы регулирования и управления. Понятие о мехатронных системах. Общие принципы составления алгоритмов управления движением машин.

6. Передаточные механизмы

Шарнирно-рычажные передаточные механизмы. Наиболее распространенные схемы и передаточные функции. Сопоставление характеристик и качественных показателей различных схем механизмов.

Простые зубчатые механизмы для передачи движения между параллельными валами. Эвольвентные передачи. Вопросы формирования профилей зубьев и качественные характеристики передачи. Особенности цевочных, циклоидальных передач и передачи Нувикова.

Зубчатые передачи с пересекающимися и перекрещивающимися осями валов. Конические, гипоидные и червячные передачи.

Зубчатые передачи с подвижными осями колес. Планетарные (в том числе дифференциальные) механизмы. Особенности проектирования планетарных зубчатых механизмов. Методы структурного синтеза и кинематического анализа сложных зубчатых механизмов (последовательного и параллельного соединения).

Вариаторы скорости. Структура и кинематика замкнутых гидромеханических, электромеханических и фрикционных (соединенных параллельно с зубчатыми механизмами) передач.

Соосные и несоосные (планетарные) винтовые передачи. Основы структуры и кинематики. Взаимосвязь геометрических параметров и качественных показателей.

7. Манипулирующие механизмы

Манипулирующие механизмы на основе незамкнутых кинематических цепей. Многопоточные манипулирующие механизмы на основе параллельных кинематических соединений. Качественные характеристики манипулирующих механизмов (рабочее пространство, угол сервиса и т.п.). Маневренность и вопросы планирования движений.

Решения прямой и обратной задач кинематики. Кинематическая развязка. Сравнительные характеристики основных видов манипулирующих механизмов.

8. Вибровозбудители и механизмы виброзащиты

Основные источники виброактивности в механизмах. Воздействие вибрации на технические объекты и на человека-оператора. Наиболее распространенные методы, механизмы виброзащиты и их характеристики.

Использование вибрации в технике. Вибрационные машины. Ударно-вибрационные машины. Основные схемы и характеристики.

Вопросы к экзамену

1. Рабочие процессы и машины. Структура машины.
2. Классификация кинематических пар.
3. Кинематические цепи и структурные группы.
4. Механизмы с избыточными связями и лишними степенями подвижности.
5. Плоские механизмы и их виды.
6. Структурный анализ механизмов.
7. Составление уравнений геометрического анализа для замкнутых плоских цепей рычажных механизмов.
8. Решение геометрических (групповых) уравнений для замкнутых плоских цепей рычажных механизмов.
9. Исследование функций положения для плоских рычажных механизмов.
10. Решение геометрических уравнений методом Ньютона.
11. Кинематический анализ рычажных механизмов.
12. Статика рычажных механизмов. Графоаналитический и погруппный метод определения реакций и обобщенных уравновешивающих сил. Метод определения ре-

- акций и обобщенных уравновешивающих сил с помощью принципа возможных перемещений.
13. Уравнения движения звеньев в форме уравнений кинестатики и общего уравнения динамики.
 14. Силы и моменты сил инерции при различных видах движения звеньев.
 15. Особенности силового расчета механизма с избыточными связями.
 16. Основная теорема высшей кинематической пары.
 17. Кинематический анализ механизмов с линейными функциями положения (зубчатых пар, рядов и планетарных механизмов).
 18. Кинематический анализ пространственных механизмов с линейными функциями положения (косозубой, конической, червячной и гиперболоидной передачи).
 19. Автомобильный дифференциал.
 20. Свойства эвольвенты окружности и эвольвентного зацепления.
 21. Исходные контуры эвольвентных колёс.
 22. Расчёт геометрических параметров и размеров прямозубой эвольвентной передачи.
 23. Геометро-кинематические условия существования эвольвентной зубчатой передачи.
 24. Качественные характеристики зубчатой передачи. Зацепление Новикова.
 25. Выбор коэффициентов смещения. Блокирующий контур.
 26. Трение в механизмах.
 27. Модели кинематических пар с учетом сил трения.
 28. Силовой расчет червячной передачи.
 29. Потери на трение в механизмах.
 30. Внешняя виброактивность рычажных механизмов и их уравновешивание.
 31. Внешняя виброактивность роторов и их уравновешивание.
 32. Уравнение движения механизма в форме уравнений Лагранжа 2 рода. Вычисление приведенного момента инерции и обобщенных сил.
 33. Внутренняя виброактивность механизма и методы ее уменьшения.
 34. Механические характеристики двигателей.
 35. Уравнения движения цикловой машины. Режимы ее движения.
 36. Установившееся движение цикловой машины при идеальной характеристике двигателя.
 37. Установившееся движение цикловой машины при статической характеристике двигателя. Определение средней угловой скорости. Устойчивость движения и чувствительность машины к изменению рабочей нагрузки.
 38. Установившееся движение цикловой машины при статической характеристике двигателя. Определение динамических ошибок.
 39. Влияние параметров двигателя и механической системы на установившееся движение машины.
 40. Установившееся движение цикловой машины при динамической характеристике двигателя.
 41. Разбег машины .
 42. Способы формирования программных движений в машинах.
 43. Выбор программного управления.
 44. Уменьшение динамических ошибок с помощью систем управления с обратными связями. Устойчивость механической системы.

Основная литература

Теория механизмов и машин : учебник для студ. учреждений высш. проф. образования / [М.З.Коловский, А.Н.Евграфов, Ю.А.Семенов, А.В.Слоущ] – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 560 с.

- Евграфов А.Н. Теория механизмов и машин : учебник / А.Н. Евграфов, М.З.Коловский, Г.Н.Петров. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2015. – 248 с.
- Теория механизмов и механика машин : учебник для вузов / [Г.А.Тимофеев и др.]; Под ред. Г.А.Тимофеева. М. : Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2017. – 566 [2] с. : ил.
- Артоболевский И. И. Теория механизмов и машин. М.: Наука, 1988.
- Крайнев А. Ф. Механика машин: Фундаментальный словарь . М.: Машиностроение, 2000. (2-е изд. 2001).
- Кинематика, динамика и точность механизмов/Под ред. Г.В. Крейнина. М. : Машиностроение, 1984.
- Решетов Л.Н. Самоустанавливающиеся механизмы. Справочник. М.: Машиностроение, 1985.
- Гавриленко В.А. Зубчатые передачи в машиностроении. М.: Машиностроение, 1972.
- Левитский Н.И. Теория механизмов и машин . М.: Наука, 1990.
- Щепетильников В. А. Уравновешивание механизмов. М. : Машиностроение, 1982.
- Вибрации в технике : Справочник. М.: Машиностроение, 1998.
- Планетарные передачи: Справочник / Под ред. В.Н . Кудрявцева и Ю.Н. Кирдяшева. Л. : Машиностроение, 1977.
- Справочник по триботехнике. В 3 т. 1 Под общей ред. М. Хебды и А.В. Чичинадзе. М. : Машиностроение ; Варшава: ВКЛ, 1989- 1992.
- Дроздов Ю.Н. , Павлов В.Г., Пучков В.Н . Трение и износ в экстремальных условиях. М. : Машиностроение, 1986.
- Механика машин: Учебн. пособие для втузов / Под ред. Г.А. Смирнова. М.: Высш. шк ., 1996.
- Литвин Ф.Л . Теория зубчатых зацеплений. М.: Наука, 1968.
- Коловский М.З., Слоущ А.В. Основы динамики промышленных роботов. М.: Машиностроение, 1988.
- Пейсах Э. Е., Нестеров В.А. Система проектирования плоских рычажных механизмов. М. : Машиностроение, 1988.
- Машиностроение: Энциклопедия. Т. 1-3, кн. 1, 2. М.: Машиностроение, 1994- 1995.

9. Вакуумная, компрессорная техника и пневмосистемы

Введение

В основу типовой программы положены вузовские дисциплины, посвященные теории и основам процессов машин, систем и агрегатов, предназначенных для получения, хранения, транспортировки и использования сжатого и разреженного газов, и дисциплины по расчету и конструированию объемных машин, турбомашин, вакуум-насосов, пневматических и вакуумных систем, их агрегатов и элементов.

1. Общетеоретические основы расчета и исследования машин и агрегатов вакуумной и компрессорной техники

Основные термодинамические процессы, происходящие в машинах вакуумной и компрессорной техники.

Физическое обоснование основных гипотез молекулярно-кинетической теории газов. Расчет количества молекул, соударяющихся в равновесном состоянии со стенкой. Давление газа.

Основные уравнения течений несжимаемых и сжимаемых сред. Методы расчета при переменной массе газа. Установившееся и неустановившееся течение газа в трубопроводах. Методы расчета проточных элементов пневматических и вакуумных систем.

Режимы течения газа в трубопроводах и элементах компрессорных и вакуумных машин: турбулентный, инерционно-вязкостный, вязкостный и молекулярно-вязкостный, молекулярный. Физические принципы определения режимов течения газа. Расчет проводимости каналов при различных режимах течения.

Типы щелей в напорных и вакуумных машинах. Классификация протечек по их влиянию на объемные и энергетические характеристики. Методы расчета протечек через щели при ламинарном и турбулентном режимах течения газа при наличии смазки. Расчет компрессорных, вакуумных машин и пневмоагрегатов при нестационарности движения газа и колебаниях в трубопроводах.

Особенности различных условий массообмена в пневматических и вакуумных системах.

Методы расчета многоступенчатых вакуумных и компрессорных установок. Основные характеристики. Расчет оптимальных параметров и компоновки многоступенчатой вакуумной установки. Основные параметры вакуумных систем. Особенности конструкций систем низкого, среднего, высокого и сверхвысокого вакуума. Основные элементы вакуумных систем.

Динамика элементов пневматических и вакуумных систем. Методы совершенствования и оптимизации, критерии оценки. Минимизация и согласование силовых характеристик элементов систем. Вопросы надежности, прочности и долговечности элементов.

Методы расчета уплотнений валов и опор.

Методы экспериментального исследования элементов систем вакуумной и компрессорной техники. Расчет погрешности измерений. Измерение основных газодинамических параметров.

Автоматизация вакуумных и пневматических установок. Вопросы регулирования объемных и лопаточных машин.

Системы автоматической защиты и блокировки пневмосистем с различными типами компрессорных и вакуумных машин.

Основы математического моделирования элементов систем вакуумной и компрессорной техники. Основные этапы разработки модели.

2. Вакуумная техника

Физика вакуума. Критерии, определяющие разрежение газа. Уравнение Больцмана. Закон Максвелла распределения молекул газа по тепловым скоростям. Средняя длина свободного пути молекул, влияние на нее различных факторов.

Уравнение переноса в вакууме. Вязкость, теплопроводность, диффузия. Взаимодействие частиц с поверхностью твердых тел. Коэффициенты аккомодации. Термомолекулярное течение газов.

Молекулярные пучки. Пространственно-угловое распределение молекул в высоком вакууме при движении по каналам. Методы расчета проводимости элементов вакуумных систем.

Физическая и химическая сорбция газов. Силы и энергия связи между частицами. Коэффициент прилипания, скорость адсорбции. Особенности физических процессов криосорбции. Основные уравнения адсорбции. Моно- и полимолекулярная адсорбция. Тепло сорбции. Газопроницаемость. Растворимость газа в твердых телах. Десорбция. Газовыделение вакуумных материалов. Основные факторы, влияющие на процесс.

Получение вакуума. Объемные насосы. Классификация и области применения. Конструктивные схемы поршневых, роторных, ротационно-пластинчатых, жидкостно-кольцевых, пластинчато-статорных и плунжерных вакуум-насосов с масляным уплотнением. Определение коэффициента откачки и его составляющих. Влияние различных факторов на объемные характеристики насосов. Расчет теоретических индикаторных диаграмм и максимальной индикаторной мощности. Действительные характеристики. Основы математического моделирования процессов в объемных насосах.

Конструктивные схемы турбомолекулярных вакуум-насосов. Теоретические модели процесса переноса молекул газа межлопаточными каналами рабочих колес насоса. Их сравнительный анализ. Влияние геометрических размеров канала на основную характеристику колеса. Расчет откачных параметров рабочих колес турбомолекулярного вакуум-насоса. Методы определения оптимальных геометрических размеров проточной части насоса. Расчет откачной характеристики турбомолекулярного вакуум-насоса на заданные параметры. Оптимизация турбомолекулярного вакуум-насоса по откачным параметрам.

Расчетное определение характеристики насоса при молекулярно-вязкостном режиме течения газа. Материалы, применяемые для изготовления основных узлов насоса, особенности технологии их изготовления.

Пароструйные вакуум-насосы. Особенности механизма откачки в эжекторных, бустерных и диффузионных насосах. Расчет скорости истечения и расхода пара в дозвуковом и сверхзвуковом соплах. Метод расчета откачных параметров эжекторных вакуумных насосов. Теория процессов в диффузионных насосах в режимах предельного вакуума и обеспечения полезной быстроты откачки. Расчет многоступенчатых высоковакуумных пароструйных насосов.

Адсорбционные насосы. Основные характеристики сорбентов, их сравнительный анализ. Расчет необходимого количества адсорбента для обеспечения заданной откачной характеристики.

Криоконденсационные вакуумные насосы. Процессы конденсации на криопанели. Криозахват и криосорбция. Расчет вакуумных параметров крионасоса и тепловой нагрузки на охлаждаемые панели. Практические рекомендации по конструированию и расчету вакуумных криосистем. Особенности расчета форвакуумных крионасосов.

Магнитно-разрядные вакуум-насосы. Газовый разряд при низких давлениях. Разряд в приборах с горячим катодом. Виды ионной откачки газов. Геометрия ячейки. Критический режим работы ячейки насоса. Уравнение для определения тока разряда ячейки. Метод расчета откачных параметров магнитно-разрядного вакуум-насоса. Оптимизация магнитно-разрядных вакуум-насосов по откачным параметрам.

Гетеро-ионные вакуум-насосы. Виды испарителей. Расчет параметров испарительных титановых насосов. Особенности конструктивных схем гетеро-ионных вакуум-насосов.

Многоступенчатые вакуумные установки. Расчет многоступенчатых низковакуумных установок по размерным и безразмерным параметрам с оптимизацией по весовым,

объемным и энергетическим параметрам. Расчет характеристики установки, вопросы регулирования основных параметров.

Работа, затрачиваемая при откачке, КПД установки. Расчет теоретической индикаторной работы откачки.

Расчет высоковакуумной многоступенчатой установки. Схемы высоковакуумных и сверхвысокововакуумных систем откачки. Расчет времени откачки из замкнутого объема с учетом внутренних газовыделений, натеканий и сопротивления соединительных коммуникаций.

Вакуумные системы. Определение эффективной быстроты откачки и давления газа в установке и выбор откачкой системы.

Имитационные вакуумные установки.

Технологические вакуумные системы. Конструкции вакуумных напылительных установок. Влияние вида вакуумной откачной системы на процесс напыления, практические рекомендации.

Элементы вакуумных систем. Вакуумные камеры и трубопроводы. Расчет на прочность.

Особенности конструкций элементов в системах низкого, высокого и сверхвысокого вакуума. Виды разъемных и неразъемных соединений. Вакуумные уплотнители.

Запорная арматура. Виды вакуумных клапанов, затворов. Вакуумные натекатели.

Вакуумные ловушки. Классификация. Основные характеристики. Расчет охлаждаемых ловушек.

Вакуумные вводы. Сравнительные характеристики.

Методы измерения вакуума. Классификация вакуумных манометров для измерения давления газа. Принцип их действия. Расчет градуировочной кривой теплоэлектрических манометрических преобразователей. Определение постоянной ионизационного манометра.

Особенности измерения сверхвысокого вакуума. Практические рекомендации по эксплуатации преобразователей. Влияние рода газа. Методы автоматического регулирования откачных параметров вакуумных систем с помощью манометрических датчиков.

Измерение парциальных давлений. Классификация приборов, принцип их действия. Диапазон применимости различных методов измерения парциальных давлений, их сравнительная характеристика.

Оценка точности измерения давлений. Практические рекомендации по выбору метода измерения и расположения датчиков в вакуумной системе.

Испытание вакуумных систем. Методы экспериментального определения откачных параметров различных средств откачки, их сравнительный анализ, область применения. Оценка погрешности измерений.

Течеискание. Классификация методов течеискания. Требования, предъявляемые к различным вакуумно-плотным соединениям.

Классификация приборов для определения негерметичности, принцип их действия, область применения. Сравнительная характеристика различных течеискателей. Рекомендации по выбору метода определения течей и натеканий. Испытание откачных устройств и элементов вакуум-систем в замкнутом контуре.

3. Компрессорная техника

Поршневые компрессоры. Идеальный и действительный объемные компрессоры. Влияние мертвого пространства, потерь давления, теплообмена, несовершенства изготовления и износа компрессора на объемные потери. Коэффициент подачи компрессора. Метод определения производительности. Индикаторная диаграмма действительного одноступенчатого компрессора. Индикаторная мощность. Мощность трения. Особенности газодинамических и термодинамических явлений в объемных компрессорах.

Процессы теплообмена в объемных компрессорах.

Теоретический многоступенчатый компрессор. Действительный многоступенчатый компрессор.

Работа, затраченная в компрессоре для сжатия реального газа. Объемный коэффициент и мощность компрессора, сжимающего реальный газ.

Уравновешивание инерционных сил в компрессорах.

Способы изменения производительности поршневых компрессоров. Особенности рабочих процессов при регулировании производительности многоступенчатых компрессоров. Особенности изменения производительности компрессоров.

Природа пульсирующих потоков в трубопроводах поршневых компрессоров. Волновые и инерционные явления. Способы гашения пульсаций давления. Расчет ресиверов-успокоителей.

Роторные компрессоры. Особенности рабочих циклов и процессов в различных типах роторных компрессоров. Теоретические и расчетные индикаторные диаграммы. Действительные индикаторные диаграммы различных типов роторных компрессоров. Особенности определения энергетических характеристик.

Особенности расчета роторных вакуум-компрессоров.

Теоретическое профилирование роторов и корпусов роторных компрессоров.

Особенности работы роторных вакуум-компрессоров при откачке паров жидкостей.

Рабочий процесс и гидродинамика течения жидкости в жидкостно-кольцевом компрессоре и вакуум-насосе. Определение формы жидкостного кольца.

Современные методы повышения эффективности роторных компрессоров и вакуум-насосов различных типов.

Турбокомпрессоры. Рабочие процессы в ступени центробежных компрессоров и нагнетателей. Основные уравнения газодинамики для ступени центробежного компрессора. Анализ основных коэффициентов и параметров ступени. Потери в ступени. КПД ступени и элементов ступени.

Особенности процесса сжатия в многоступенчатых центробежных машинах. Характеристики многоступенчатых центробежных компрессорных машин. Теплообмен в турбокомпрессоре. Методы расчета центробежных компрессорных машин.

Методы расчета центробежных вентиляторов. Характеристики вентиляторов.

Газодинамические основы теории осевого компрессора. Основные газодинамические уравнения движения воздуха в компрессоре. Безразмерные параметры: коэффициент напора, коэффициент расхода. Течение газа в плоских решетках. Основные параметры, КПД решетки, обтекание профиля, силы, действующие на профиль. Основное аэродинамическое уравнение для расчета элементарной ступени.

Ступень осевого компрессора. Принципы профилирования ступени (по закону постоянства циркуляции, степени реакции и с переменным напором по радиусу). Влияние различных факторов (сжимаемости, числа Маха, вязкости, числа Рейнольдса) на КПД и напор ступени. Сверхзвуковые ступени.

Многоступенчатые осевые компрессоры. Типы проточной части компрессора. Распределение КПД, степени реактивности напора и осевых скоростей по ступеням. Методы расчета осевых компрессоров.

Характеристики осевого компрессора. Физические основы и методы построения и расчета характеристик компрессора. Регулирование осевых компрессоров.

Работа осевого компрессора в режиме вакуум-насоса. Теоретические исследования возможности работы осевого компрессора в режиме низкого вакуума. Теоретические и экспериментальные исследования работы осевого компрессора в режиме глубокого вакуума.

Вихревые компрессоры и вакуум-насосы. Теория и расчет рабочего процесса вихревых машин.

Компрессорные станции. Основные уравнения для расчета оптимальных параметров компрессорных станций. Расчет параметров и выбор компрессорного оборудования. Основные методы расчета вспомогательного оборудования компрессорных станций.

4. Пневмоагрегаты вакуумной и компрессорной техники

Основные закономерности статического и динамического расчета движения элементов конструкций пневмоагрегатов.

Особенности течения газа через различные виды сопротивлений в пневмоагрегатах.

Анализ влияния различных видов трения на рабочие характеристики пневмоагрегатов и исполнительных устройств.

Методы конструирования пневмоагрегатов. Критерии оценки.

Исполнительные устройства вакуумных и пневматических систем. Регулирующие и перекрывающие исполнительные устройства. Пневмоинструмент. Методы конструирования, расчета, испытания и оценки совершенства исполнительных устройств. Особенности статического и динамического расчета пневматических исполнительных устройств.

Методы конструирования, расчета и испытания уплотнений исполнительных устройств.

Приводы поступательного и вращательного движения. Пневматические приводы. Методы конструирования, расчета и испытания.

Основные элементы пневмоавтоматики. Элементы непрерывного и дискретного действия. Усилительные, преобразующие и логические элементы пневмоавтоматики. Методы конструирования, расчета и испытания элементов пневмоавтоматики.

Основные методы расчета и конструирования пневматических систем.

Испытания пневмоагрегатов.

Основные типы испытаний пневмоагрегатов. Статические и динамические измерения параметров пневмоагрегатов. Методы измерения газодинамических, термодинамических, тепловых и механических параметров пневмоагрегатов.

Основные типы датчиков для замера параметров пневмоагрегатов. Параметры датчиков. Чувствительность и инерционность датчиков.

Вопросы к экзамену:

1. Физические основы повышения давления. Классификация компрессоров. Особенности работы компрессоров объемного и динамического действия. Схемы компрессоров, основные элементы.

2. Идеальный поршневой компрессор, основные понятия, индикаторная диаграмма. Реальный поршневой компрессор, характеристики, основные критерии оценки эффективности. Индикаторная диаграмма. Конструктивные особенности. Области применения.

3. Винтовой компрессор. Характеристики. Термодинамические основы расчета процессов сжатия. Области применения. Способы регулирования. Конструктивные особенности. Конструкция винтов. Сопоставление винтовых и поршневых компрессоров.

4. Компрессорные установки. Основные элементы и их конструктивные особенности. Понятие о воздухоподготовке. Разновидности очистки газов от масла, влаги и механических примесей.

5. Компрессоры динамического действия. Конструктивные особенности. Области применения. Термодинамические и газодинамические основы теории турбокомпрессоров. Кинематика потока в проточных частях турбокомпрессоров.

6. Режимные параметры ступеней турбокомпрессоров. Разновидности напоров ступеней турбокомпрессоров. Потери в ступенях турбокомпрессоров. Критерии оценки эффективности ступеней турбокомпрессоров. Разновидности рабочих колес ступеней турбокомпрессоров. Промежуточные и концевые ступени турбокомпрессоров.

7. Способы охлаждения газа в компрессорах и их влияние на рабочие процессы. Совместная работа компрессоров на сеть, совмещенные характеристики. Способы регулирования турбокомпрессоров. Противопомпажная защита.

8. Понятие о вакууме. Низкий средний и глубокий вакуумы. Физические основы получения различных разновидностей вакуума. Машины и аппараты для получения различных уровней вакуума. Особенности получения криогенного вакуума.

9. Термодинамические основы обратных циклов. Идеальный обратный обратимый цикл. Критерии оценки эффективности обратных циклов. Циклы холодильной машины и теплового насоса с дросселированием и расширительной машиной, сравнительный анализ.

Основная литература

1. Галеркин Ю. Б., Кожухов Ю. В. Теория турбомашин. Основы теории турбокомпрессоров. СПб.: Издательство политехнического университета, 2013.

2. Вакуумная техника: Справочник / Е.С. Фролов, В.Е. Минайчев, А.Т. Александрова и др.; Под общ. ред. Е.С. Фролова, В.Е. Минайчева. М.: Машиностроение, 1992.

3. Механические вакуумные насосы / Е.С. Фролов, И.В. Автономова, В.И. Васильев и др. М.: Машиностроение, 1989.

4. Саксаганский Г.Л. Молекулярные потоки в сложных вакуумных структурах. М: Атомиздат, 1980.

5. Саксаганский Г.Л. Электрофизические вакуумные насосы. М.: Энергоатомиздат, 1988.

6. Розанов Л.Н. Вакуумная техника. М.: Высш. шк., 1990.

7. Кузьмин В.В. Вакуумные измерения. М.: Изд-во стандартов, 1992.

8. Кузьмин В.В., Левина Л.Е., Творогов И.В. Вакуумметрическая аппаратура техники высокого вакуума и течеискания. М.: Энергоатомиздат, 1984.

8. Уплотнения и уплотнительная техника: Справочник/ Л.А. Кондаков, А.И. Голубев, В.В. Гордеев и др.; Под общ. ред. А.И. Голубева, Л.А. Кондакова. 2-е изд. М.: Машиностроение, 1994.

9. Селезнев К.П., Галеркин Ю.Б. Центробежные компрессоры. Л.: Машиностроение, 1982.

10. Технология компрессоростроения / Н.А. Ястребова, А.И. Кондаков, В.Д. Лубенец, А.Н. Виноградов. М.: Машиностроение, 1987.

11. Пластинин П.И. Поршневые компрессоры. Т.1. Теория и расчет / 2-е изд., перераб. и доп. М.: Колос, 2000.

12. Ибрагимов И.А. Фарзана Н.Г., Илясов Л.В. Элементы и системы пневмоавтоматики / 2-е изд., перераб. и доп. М.: Высш. шк., 1985.

13. Беляев Н.М. Расчет пневмогидравлических систем ракет. М.: Машиностроение, 1988.

14. Беляев Н.М., Уваров Е.И., Степанчук Ю.Н. Пневмогидравлические системы. Расчет и проектирование. М.: Высш. шк., 1988.

15. Хрусталева Б. С. и др. Основы низкотемпературной техники. Основы проектирования ротационных компрессоров. СПб.: Издательство политехнического университета, 2013.

10. Гидравлические машины, гидропневмоагрегаты

Основные разделы

1. Механика жидкости и газа

Основные физические свойства жидкости и газа. Понятие о массовых и поверхностных силах, баланс сил. Дифференциальное уравнение гидростатики. Распределение давления в неподвижной жидкости. Основные понятия кинематики; идеальная и вязкая жидкость, установившееся и неустановившееся движение, линия тока, трубка тока, потенциальное и вихревое движение жидкости. Определение расхода, интенсивности вихревой трубки и циркуляции скорости. Теорема Стокса. Основные уравнения гидродинамики: уравнение неразрывности, уравнение движения идеальной жидкости Эйлера. Уравнение Бернулли для элементарной струйки и «целого» потока (для случая идеальной и реальной жидкости, установившегося и неустановившегося движения). Структура потока в трубах. Уравнение равномерного прямолинейного движения вязкой жидкости в трубе. Распределение касательных напряжений по сечению трубы и давлений по ее длине. Закон трения Ньютона. Распределение скоростей по сечению трубы при ламинарном и турбулентном движении жидкости. Вычисление потерь давления по длине трубы. Коэффициент трения и его связь с числом Рейнольдса. Местные сопротивления. Внезапное расширение потока (теорема Борда). Истечение из отверстий и насадков. Коэффициенты скорости, расхода и сжатия, Течение в диффузорах.

Уравнений Навье-Стокса движения вязкой жидкости. Применение законов количества движения и момента количества движения к жидкости. Основы теории подобия и моделирования гидродинамических процессов. Основные критерии динамического подобия. Основы теории пограничного слоя, его характеристики, Уравнение Прандтля движения вязкой жидкости в пограничном слое. Интегральное уравнение для пограничного слоя.

Неустановившееся движения жидкости и газа; уравнения, описывающие такое движение. Гидравлические сопротивления при неустановившихся течениях. Гидравлический удар. Колебания жидкости и газа.

2. Объемные гидравлические машины и гидропередачи

Поршневые и роторные гидромашин. Их устройство, особенности рабочего процесса, параметры, статические характеристики, кинематика механизмов вытеснения рабочей жидкости. Конструкции распределителей рабочей жидкости. Расчет размеров, силовые соотношения в многопоршневых гидромашин. Расчет крутящих моментов и сил, действующих на статор и ротор. Гидравлическое уравновешивание нагрузок, Высокомоментные (тихоходные) гидромоторы. Основные особенности их конструкций. Расчет крутящих моментов, инерционных и гидравлических сил. Выбор оптимальных профилей направляющих статора. Регулирование высокомоментных гидромоторов. Зубчатые и винтовые гидромашин. Основные кинематические соотношения. Расчеты нагрузок и их уравновешивание. Расчет размеров. Потери энергии в гидрообъемных машин. Теоретическое и экспериментальное определение потерь и КПД. Рабочие жидкости для систем объемного гидропривода. Их основные физические свойства и характеристики. Рекомендации по выбору рабочих жидкостей. Причины загрязнения рабочих жидкостей в гидросистемах, Классы чистоты и требования к качеству рабочей жидкости для гидросистемы. Фильтры. Их классификация по принципу действия. Расчет размеров фильтрующих элементов и гидравлических сопротивлений в цепи фильтра.

Объемный гидравлический привод. Принципиальные схемы. Примеры практического применения, Статические характеристики идеализированных моделей. Математическая модель объемного гидропривода с регулируемым насосом, учитывающая реальные и условные утечки. Передаточная функция такой модели и частотные характеристики. Гидравлический привод с дроссельным регулированием. Варианты подключения регулируе-

мых дросселей, уравнения статических характеристик, Привод с дросселирующими гидрораспределителями. Статические характеристики. Математическая модель и ее линеаризация. Передаточные функции такого привода. Электрогидравлический следящий привод. Математическая модель привода с ЭГУ и электрической главной обратной связью. Линеаризация модели. Анализ динамических процессов при управлении. Применение ЭВМ в динамических расчетах гидроприводов.

3. Лопастные гидравлические машины и гидродинамические передачи

Различные виды лопастных гидромашин, их назначение. Основные параметры лопастных гидромашин, Классификация лопастных гидромашин по принципу действия, Основные конструктивные схемы гидротурбин, насосов и насос-турбин. Элементы проточной части лопастных гидромашин (центробежного насоса, реактивной гидротурбины, насос-турбины, гидромуфты и гидротрансформатора), их назначение. Понятие о рабочем и теоретическом напоре, гидравлическом КПД гидротурбины и насоса. Виды потерь энергии лопастных гидромашин, их общий КПД.

Основные условия подбора в лопастных гидромашин. Связь между основными параметрами подобных гидромашин. Приведенные величины, коэффициент быстроходности, Классификация лопастных гидромашин по быстроходности и области их применения. Физическая сущность кавитации, ее последствия. Высота всасывания насоса и гидротурбины. Меры защиты от кавитации. Основные методы расчета рабочих органов лопастных гидромашин. Абсолютное и относительное движение жидкости в рабочем колесе. Треугольник скоростей. Уравнение Эйлера лопастной гидромашин (для насоса и гидротурбины). Рабочие и универсальные характеристики гидротурбины, насоса и насос-турбины. Способы регулирования лопастных гидромашин. Моментные характеристики лопастных гидромашин. Совместная работа насоса и сети.

Классификация гидродинамических передач. Основы рабочего процесса, баланс моментов, баланс напоров. Виды потерь; внешняя, универсальная и тяговая характеристики гидромуфт. Приведенные параметры и приведенная характеристика, ее связь с типом лопастной системы. Способы управления гидромуфтой, предельные гидромуфты со статическим и динамическим самоопорожнением. Влияние типа нагрузки на вид внешней характеристики и на потери; тепловой баланс. Расчет гидромуфты на основе моделирования с использованием приведенных характеристик. Особенности рабочего процесса гидротрансформатора, схемы проточной части. Внешняя и приведенная характеристики.

Типы гидротрансформаторов, конструктивные схемы (комплексных, многоколесных и многоступенчатых). Системы питания и охлаждения, тепловой баланс. Способы управления гидротрансформаторами. Согласование работы двигателя и гидротрансформатора. Методы расчета лопастных систем. Основы расчета характеристик гидротрансформатора.

4. Гидравлическая аппаратура

Линейные и дросселирующие гидрораспределители, типы назначения, устройства, принцип действия. Основные схемы подключения в гидравлических системах. Регулирующие и энергетические характеристики. Силы, действующие на подвижные элементы распределителей. Расчет гидрораспределителей. Особенности гидрораспределителей типа "сопло-заслонка", "струйная трубка".

Гидравлические усилители без обратных связей и с ними, конструктивные особенности, принцип действия. Коэффициенты усиления гидроусилителей типа "сопло-заслонка", "струйная трубка".

Гидравлические аппараты регулирования давления и потока жидкости, их назначение, устройство, типы, принцип действия. Гидравлические предохранительные и переливные клапаны. Их классификация по принципу действия. Гидродинамический расчет клапанов прямого действия. Математическое моделирование рабочего процесса золотниково-

го переливного клапана с сервоуправлением. Гидравлические распределители потока. Классификация по виду перекрытия. Уравнения статических характеристик дросселирующих распределителей. Коэффициенты расхода. Гидродинамические силы. Способы управления распределителями. Примеры применения.

Гидравлические устройства стабилизации потока жидкости, типы, устройство, принцип действия, область применения, особенности применения.

Гидравлические делители и сумматоры потоков объемного и дроссельного типов, устройство, принцип действия, область применения.

Электрогидравлические усилители (ЭГУ) мощности. Классификация по основным конструктивным признакам. Назначение. Виды и устройство применяемых в ЭГУ электромеханических преобразователей. Виды обратных связей. Математические модели ЭГУ основных типов (золотникового, с элементом «сопло-заслонка», с элементом «струйная трубка»). Линеаризация уравнений математической модели, операторная форма. Передаточные функции ЭГУ различных типов. Частотные характеристики. Качество переходных процессов в ЭГУ.

Пропорциональная гидравлическая техника, ее особенности, разновидности, устройство, принцип работы, область применения.

5. Пневматический привод и средства автоматизации

Особенности пневматического привода. Пневматические источники энергии, типы, устройство, принцип действия. Классификация. Основные параметры и характеристики. Способы и приборы для очистки и сушки воздуха, их устройство и принцип действия.

Пневматические исполнительные устройства поступательного и вращательного движений, разновидности, особенности, основные характеристики. Пневматические двигатели, особенности выбора и их расчета. Следящие пневматические приводы, основные характеристики и особенности работы.

Пневматические мембранные элементы для средних давлений, устройство, принцип действия, характеристики, область применения. Реализация логических функций с помощью мембранной техники.

Струйные элементы пневматических систем малых давлений, устройство, разновидности, принцип действия, основные характеристики. Струйный усилитель, назначение и область применения. Реализация логических функций на струйных элементах.

Пневматические глухие и проточные камеры. Статические и динамические характеристики проточных камер с ламинарными и турбулентными дросселями. Усилитель типа «сопло-заслонка» как частный случай проточной камеры.

Методика синтеза одноктных и многоктных систем управления пневматическими приводами.

6. Динамика и регулирование гидропневматических систем

Основные понятия и определения. Виды алгоритмов управления в технических системах.

Основные элементы автоматических регуляторов и управляющих устройств. Устойчивость, качество, точность регулирования и управления.

Статика и динамика автоматических систем. Математические модели систем. Характеристики систем. Линеаризация характеристик и уравнений при описании систем.

Динамические звенья и структурные схемы систем автоматического регулирования и управления (САР и САУ). Устойчивость систем. Критерии устойчивости. Качество процессов регулирования, показатели качества переходных процессов. Применение ЭВМ для исследования и расчета переходных процессов.

Синтез корректирующих звеньев. Методы исследования и расчетов нелинейных систем. Импульсные и цифровые системы. Оптимальные системы. Математическое описание гидро- и пневмосистем. Виды математических моделей гидро- и пневмосистем. Методы исследований и расчетов динамических режимов гидро- и пневмосистем.

Динамические характеристики гидравлических и пневматических линий. Динамические характеристики регулирующих и распределительных устройств. Следящие гидромеханические и пневматические приводы с дроссельным регулированием. Математическая модель, структурная схема, анализ устойчивости и расчет динамических характеристик.

Электрогидравлические и электропневматические следящие приводы с дроссельным регулированием. Функциональные схемы, математические модели, структурные схемы. Динамический расчет.

Следящие гидроприводы с объемным регулированием. Принципиальная и расчетная схема. Математическая модель. Структурная схема. Динамический расчет. Гидравлические и пневматические системы с автоматическими регуляторами.

Функции автоматических регуляторов. Математические модели систем автоматического регулирования объемных насосов. Динамика гидравлических систем с регулируемым насосом.

7. Надежность и диагностика гидропневматических систем

Особенности эксплуатации гидравлических и пневматических машин, агрегатов и аппаратов. Понятие надежности гидро- и пневмомашин и агрегатов, методы ее повышения (пассивные и активные). Понятие об отказах системы, резервировании, времени восстановления устройств. Способы и средства диагностирования как активного метода повышения надежности, причины выхода из строя гидравлических и пневматических систем и агрегатов. Особенности диагностирования лопастных гидравлических машин, в том числе – главных циркуляционных насосов атомных электрических станций.

ВОПРОСЫ

1. Уравнения движения идеальной жидкости и интегралы уравнений движения для разных форм, стационарного и нестационарного течения.

2. Распределение касательных напряжений и скоростей по сечению трубы при ламинарном и турбулентном движении. Вычисление потерь давления по длине трубы.

3. Местные сопротивления. Внезапное расширение потока (теорема Борда).

4. Уравнения Навье-Стокса движения вязкой жидкости. Граничные и начальные условия.

5. Основы теории подобия и моделирования гидродинамических процессов. Основные критерии динамического подобия.

6. Явление гидравлического удара.

7. Поршневые гидромшины. Классификация. Устройство основных типов, особенности рабочего процесса, характеристики.

8. Шестеренные гидромшины. Устройство, особенности рабочего процесса, характеристики.

9. Винтовые гидромшины. Устройство, особенности рабочего процесса, характеристики.

10. Гидравлические приводы с объемным и дроссельным регулированием.

11. Основные конструктивные схемы гидротурбин, насосов и насос-турбин. Элементы их проточной части. Теоретический и рабочий напор, гидравлический КПД.

12. Физическая сущность кавитации, ее последствия. Высота всасывания насоса и гидротурбины.

13. Уравнение Эйлера лопастной гидромшины для насоса и гидротурбины.

14. Основы рабочего процесса и характеристики гидромффт и гидротрансформаторов.

15. Линейные и дросселирующие гидрораспределители, устройство, принцип действия. Характеристики.

16. Гидравлические делители и сумматоры потоков объемного и дроссельного типов, устройство, принцип действия.
17. Гидравлические клапаны давления. Устройство, назначение, характеристики.
18. Электрогидравлические усилители (ЭГУ) мощности. Классификация по основным конструктивным признакам. Назначение.
19. Особенности пневматического привода. Пневматические источники энергии, типы, устройство, принцип действия. Классификация. Основные параметры и характеристики.
20. Пневматические исполнительные устройства поступательного и вращательного движений, разновидности, особенности, основные характеристики.
21. Пневматические управляющие элементы. Основные виды, назначение, характеристики.
22. Синтез одноктактных и многотактных систем управления пневматическими приводами.
23. Основные элементы автоматических регуляторов и управляющих устройств. Устойчивость, качество, точность регулирования.
24. Устойчивость систем. Критерии устойчивости. Качество процессов регулирования.
25. Синтез корректирующих звеньев. Методы исследования и расчетов нелинейных систем.
26. Гидромеханические и пневматические приводы с дроссельным регулированием.
27. Электрогидравлические и электропневматические следящие приводы с дроссельным регулированием.
28. Следящие гидроприводы с объемным регулированием.
29. Понятие надежности, пассивные и активные методы повышения надежности гидро- и пневмомашин и систем.
30. Особенности диагностики гидравлических машин.

Основная литература

- Лопастные и объемные гидравлические машины : учеб. пособие / А. И. Бусырев [и др.] ; под общ. ред. В. А. Умова. — СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2010. — 280 с. (Энергетика в политехническом университете).
- Жарковский А.А. Механика жидкости и газа. Гидромеханика : учеб. пособие / А.А. Жарковский. — СПб. : Изд-во Политехн ун-та, 2011. — 229 с.
- Топаж Г.И. Лопастные гидромашини и гидродинамические передачи. Основы рабочего процесса и расчета гидротурбин. Учебное пособие., Изд-во СПбГПУ, 2011
- Грянко Л.П., Исаев Ю.М. Гидродинамические и гидрообъемные передачи в трансмиссиях транспортных средств: Учеб. пос. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2000.
- Попов Д.Н. Механика гидро- и пневмоприводов: Учебник. М.: Изд-во МГТУ, 2001.

Дополнительная литература

- Попов Д.Н. Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем: Учебник. М.: Машиностроение, 1987.
- Шкарбуль С.Н., Жарковский А.А. Гидродинамика потока в рабочих колесах центробежных турбомашин: Учеб. пос. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1996.
- Ломакин А.А. Центробежные и осевые насосы. Л.: Машиностроение, 1966. 363с.
- Этинберг И.Э., Раухман Б.С. Гидродинамика гидравлических турбин. Л.: Машиностроение, 1978. 279с.

11. Колесные и гусеничные машины

Введение

Данная программа охватывает вопросы теории, конструирования, расчетов и испытаний следующих машин: легковые, грузовые автомобили, автобусы и автопоезда общетранспортного назначения; колесные и гусеничные тракторы сельскохозяйственного и промышленного назначения; многоцелевые и специальные колесные и гусеничные машины; специальные многоосные колесные шасси под монтаж установок больших габаритов и массы и др.

Программа разработана на основе материалов, подготовленных экспертным советом Высшей аттестационной комиссии Министерства образования Российской Федерации по машиностроению при участии ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», МГТУ им. Н.Э. Баумана, МГТУ «МАМИ» и МГТУ «МАДИ».

1. Общие положения

Базовые понятия в конструировании, расчетах и испытаниях транспортных машин. Назначение и сферы использования.

Классификация, параметры, положенные в основу классификации, типажи и типоразмерные ряды.

Технические требования, обуславливаемые назначением и областями использования машин с учетом этапов их «жизненного цикла».

Типы нормативных документов, регламентирующих структуру, состав, основные свойства и порядок создания машин разного назначения. Унификация и стандартизация.

Основы технико-экономической оценки эффективности.

Понятие о качестве и сертификации образцов.

Особенности экологического воздействия на окружающую среду.

2. Теория движения колесной и гусеничной машины

Колесная и гусеничная машина, как часть системы "машина-водитель-внешняя среда".

Статистическое и динамическое воздействие на машину.

Взаимодействие колесного и гусеничного движителя с твердой опорной поверхностью при прямолинейном движении.

Силы и моменты, действующие на колесо, физические и математические модели колесного и гусеничного движителя.

Силовой и мощностной баланс колесного и гусеничного движителя.

Влияние основных конструктивных параметров на тягово-экономические показатели работы колесного и гусеничного движителя.

Математическая модель движения машины.

Уравнение тягового и мощностного баланса машины.

Тягово-скоростные свойства колесной и гусеничной машины.

Динамический фактор. Динамическая характеристика и мощностная диаграмма машины.

Построение динамической характеристики для машины с автоматической трансмиссией.

Топливо-экономическая характеристика.

Способы поворота колесной и гусеничной машины, показатели оценки поворотливости.

Боковой увод.

Математическая модель криволинейного движения колесной и гусеничной машины.

Нормальная, избыточная и недостаточная поворачиваемость.

Влияние конструктивных и эксплуатационных параметров на поворотливость машины.

Курсовая и траекторная устойчивость колесной и гусеничной машины.

Влияние скорости машины, конструктивных параметров, углов увода и её развесовки на устойчивость движения.

Оценочные показатели управляемости колесной и гусеничной машины.

Математическая модель движения колесной и гусеничной машины при торможении.

Тормозная диаграмма. Особенности торможения машин с прицепами и полуприцепами.

Геометрические характеристики дорожных поверхностей.

Математическая модель движения колесной и гусеничной машины по периодическим и случайным поверхностям.

Продольные и поперечно-угловые колебания машин.

Показатели плавности хода и пути её повышения.

Физико-механические характеристики грунтовых поверхностей.

Деформация грунта при воздействии нормальной, касательной и произвольно направленной нагрузки.

Особенности качения колеса и движения гусеничного обвода по деформируемой поверхности.

Уравнение тягового и мощностного балансов при движении по грунту.

Оценочные показатели опорной и профильной проходимости.

Основные водоходные свойства плавающих колесных и гусеничных машин.

Понятие об остойчивости, плавучести и подвижности плавающей машины.

3. Поворотливость, курсовая устойчивость, управляемость

Принципы поворота колесных и гусеничных машин.

Причины увода колес и гусениц при движении.

Расчетные схемы поворота колесных и гусеничных машин.

Критические скорости по заносу.

Уравнения криволинейного движения, кинематика и динамика процесса поворота.

Методы построения траектории движения и коридора поворота.

Поворотливость многоосных колесных шасси, автопоездов с длинными прицепами.

Статическая и динамическая устойчивость, курсовая и боковая.

Избыточная и недостаточная поворачиваемость.

Влияние количества и расположения управляемых колес на устойчивость прямолинейного движения и поворачиваемость.

Поворот гусеничных машин в зависимости от типа механизма передачи мощности к бортам.

Влияние типа привода к колесам на поворотливость колесной машины.

Понятия об автоматизации управления движением машины.

Эргономические требования.

4. Надежность. Испытания машин

Основные понятия, определения и показатели надежности.

Модели отказов агрегатов колесных и гусеничных машин.

Вероятностные законы, используемые при анализе показателей надежности агрегатов машин.

Расчет показателей надежности на этапе проектирования машин.

Экспериментально-расчетные методы расчета агрегатов машин на надежность.

Виды лабораторных и дорожных испытаний.

Принципы и методы форсированных испытаний.

5. Конструкции машин в целом, их агрегатов

Характерные конструктивные особенности каждого из типов колесных и гусеничных машин. Принципы их общей компоновки и способы реализации этих принципов.

Основные конструктивные особенности несущих систем, силовых и трансмиссионных систем, ходовых систем, движителей, систем поддрессоривания, систем отбора мощности, лебедок, агрегатов и систем, обеспечивающих работу машины в экстремальных условиях.

6. Расчет основных агрегатов машин

Определение базовых параметров машины, выбор числа осей (опорных катков), удельных показателей и общих компоновочных решений.

Расчетные схемы типовых агрегатов, уравнения связи между параметрами агрегатов и их функциональными свойствами.

Способы рационального обеспечения функционального предназначения агрегата.

Расчет прочности методом конечных элементов и особенности его применения для каждого агрегата.

Применяемые допущения и ограничения.

Оценка точности полученных расчетных данных.

Акустическая безопасность колесных и гусеничных машин.

Методы снижения уровня шума и вибраций машин.

Динамические нагрузки в агрегатах колесных и гусеничных машин и методы их снижения.

Вопросы

1. Силы и моменты, действующие на автомобильное колесо.
2. Функции карбюратора. Схема карбюратора и принцип его работы.
3. Выбор нагрузок при расчете деталей и узлов трансмиссии на статическую и усталостную прочность.
4. Трогание с места и разгон гусеничной машины.
5. Системы непосредственного впрыска топлива (на примере бензиновых двигателей).
6. Проектировочный и поверочный расчеты гидравлического амортизатора.
7. Силы и моменты, действующие на автомобиль при повороте.
8. Агрегаты наддува двигателей. Принципы их расчета.
9. Подвеска с листовой рессорой. Схемы, их сравнительный анализ. Проектировочный и поверочный расчеты.
10. Поперечная устойчивость автомобиля по заносу.
11. Системы непосредственного впрыска топлива (на примере дизелей).
12. Конструирование и расчет синхронизаторов.
13. Поперечная устойчивость автомобиля при повороте на вираже.
14. Системы зажигания карбюраторных двигателей. Особенности бесконтактных систем зажигания.
15. Состав рулевого управления, классификация рулевых механизмов, кинематический и прочностной расчеты.
16. Понятие о рекуперации мощности при повороте.
17. Принцип выбора основных размеров двигателя, параметров его наддува.
18. Муфты сцепления: классификация, основные требования, виды отказов, пары трения, особенности конструкции. Расчет дисковых сцеплений. Особенности расчета муфт и тормозов для планетарных коробок передач.
19. Особенности механики пневматической шины, сглаживающая способность шины.
20. Силы инерции, действующие в кривошипно-шатунном механизме.
21. Главные передачи: классификация, основные требования, схемы, определение основных параметров конической главной передачи, особенности расчета зубчатых передач, валов и подшипников.
22. Упругий и демпфирующий элементы подвески, их характеристики.
23. Нормальная, радиальная и касательная силы, действующие в КШМ. Определение крутящих моментов.
24. Торсионная подвеска. Кинематические схемы, их сравнительный анализ. Проектировочный и поверочный расчеты.
25. Расчет скоростей и длин неровностей, неблагоприятных в отношении колебаний автомобиля.
26. Условия уравновешенности ДВС. Условия уравновешенности центробежных сил.
27. Гидропневматическая подвеска. Кинематические схемы, их сравнительный анализ. Проектировочный и поверочный расчеты.
28. Определение передаточных отношений механической части ГМТ.
29. Гидростатические, фрикционные, электрические передачи. Сравнительный анализ, перспективы использования на автомобилях.
30. Зубчатые передачи: виды разрушения, материалы, точность изготовления, корремирование, расчет на прочность и долговечность.
31. Потери мощности и к.п.д. трансмиссии и ходовой части гусеничной машины.

32. Гидродинамические трансформаторы крутящего момента: устройство, принцип работы, использование в транспортных машинах.
33. Дифференциалы: типы, основные требования, особенности конструирования и расчета элементов.
34. Буксование гусеничного (колесного) движителя трактора.
35. Антиблокировочная система (АБС) в тормозном приводе автомобиля: назначение, принцип работы, алгоритм работы АБС по замедлению тормозящегося колеса.
36. Картеры агрегатов трансмиссий. Смазка деталей. Типы применяемых уплотнений. Выбор размеров уплотнений.

Основная литература

- Надежность автомобилей и тракторов. Конспект лекций / Демидов Н.Н. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – 50 с
- Русинов Р.В. Двигатели автомобилей и тракторов : учеб. пособие / Р.В. Русинов, Р.Ю. Добрецов. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. – 146 с.
- Теория движения наземных транспортных систем. Поворот гусеничного трактора. Конспект лекций / Добрецов Р.Ю., Поршневу Г.П. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – 30 с.
- Добрецов Р.Ю., Поршневу Г.П. Автомобиль: поворот, устойчивость, проходимость. Конспект лекций. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2011. – 44 с.
- Добрецов Р.Ю. Анализ энергозатрат в шасси гусеничной машины с учетом особенностей работы движителя / Р.Ю. Добрецов. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 140 с.

Дополнительная литература

- Агейкин Я.С. Вездеходные колесные и комбинированные движители. М.: Машиностроение, 1972.
- Антонов Д.А. Теория устойчивости движения многоосных автомобилей. М.: Машиностроение, 1978.
- Топливная экономичность автомобилей с бензиновыми двигателями / Т.У. Асмус и др.; Под ред. Д. Хилларда и Дж. Спрингера. Пер. с англ. М.: Машиностроение, 1986.
- Проектирование полноприводных колесных машин: Учебник для вузов / Б.А. Афанасьев, и др.; Под общ. ред. А.А. Полунгяна. М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, Т.1, 1999.
- Проектирование полноприводных колесных машин: Учебник для вузов / Б.А. Афанасьев, и др.; Под общ. ред. А.А. Полунгяна. М.: Изд. МГТУ им. Н.Э.Баумана, Т.2, 2000.
- Аэродинамика автомобиля / Под ред. В.Г. Гухо. М.: Машиностроение, 1987.
- Автотракторные колеса: Справочник / И.В. Балабин и др.; Под общ. ред. И.В. Балабина. М.: Машиностроение, 1985.
- Барский И.Б. Конструирование и расчет тракторов. М.: Машиностроение, 1968.
- Конструирование и расчет колесных машин высокой проходимости / Н.Ф. Бочаров и др. М.: Машиностроение, 1983.
- Грузовые автомобили / М.С. Высоцкий и др. М.: Машиностроение, 1979.
- Основы прочности и долговечности автомобиля / Б.В. Гольд и др. М.: Машиностроение, 1967.
- Теория и расчет нелинейных систем поддрессирования гусеничных машин / А.А. Дмитриев и др. М.: Машиностроение, 1976.
- Забавников Н.А. Основы теории транспортных гусеничных машин. М.: Машиностроение, 1975.
- Кнороз В.И. Работа автомобильной шины. М.: Транспорт, 1976.
- Кристи М.К., Красеньков В.И. Новые механизмы трансмиссий. М.: Машиностроение, 1968.
- Лефаров А.Х. Дифференциалы автомобилей и тягачей. М.: Машиностроение, 1972.
- Литвинов А.С. Управляемость и устойчивость автомобиля. М., 1971.
- Литвинов А.С. и др. Автомобиль. Теория эксплуатационных свойств. М.: Машиностроение, 1989.
- Лысов М.И. Рулевое управление автомобилей. М.: Машиностроение, 1972.

- Мацкерле Ю. Современный экономичный автомобиль / Пер. с чешского. М.: Машиностроение, 1987.
- Носов Н.А. Расчет и конструирование гусеничных машин. М.: Машиностроение, 1972.
- Осепчугов В.В. Автобусы. М.: Машиностроение, 1971.
- Колебания автомобиля / Я.М. Певзнер и др.; Под. ред. Я. М. Певзнера. М.: Машгиз, 1979.
- Пирковский Ю.В., Шухман С.Б. Теория движения полноприводного автомобиля. (Прикладные вопросы оптимизации конструкции шасси). 2-е изд. М.: ЮНИТИ, 2001.
- Платонов В.Ф. Полноприводные автомобили. М.: Машиностроение, 1981.
- Многоцелевые гусеничные шасси / В.Ф. Платонов, В.С. Кожевников и др. М.: Машиностроение, 1996.
- Родионов В.Ф., Фиттерман Б.М. Проектирование легковых автомобилей. М.: Машиностроение, 1980.
- Ротенберг Р.В. Подвеска автомобиля. М.: Машиностроение, 1972.
- Смирнов Г.А. Теория движения колесных машин. М.: Машиностроение, 1990.
- Фалькевич Б.С. Теория автомобиля. М.: Машгиз, 1963.
- Энциклопедия машиностроения. Т. IV-15. Колесные и гусеничные машины. М.: Машиностроение, 1995.
- Яценко Н.Н. Колебания, прочность и форсированные испытания. М.: Машиностроение, 1972.

12. Дорожные, строительные и подъемно-транспортные машины

Введение

Данная программа, разработанная кафедрой «Транспортные и технологические системы» Санкт-Петербургского государственного политехнического университета для поступающих в аспирантуру по профилю «Дорожные, строительные и подъемно-транспортные машины», охватывает основополагающие разделы, связанные с подъемно-транспортным, строительным и дорожным машиностроением и объединяющие теорию и методы: расчета, конструирования, испытаний, диагностики подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин.

1. Машины непрерывного транспорта.

Подвесной рельсовый транспорт. Классификация, новые направления развития. Грузонесущие конвейеры. Область применения, конструкция. Особенности тягового расчета. Подвесные толкающие конвейеры. Классификация, устройство, области применения. Конструкции механизмов автостопа и основы их расчета. Конструкции демпфирующих и противооткатных устройств тележечных сцепов подвесных толкающих конвейеров. Грузоведущие конвейеры, конструкция, области применения. Монорельсовые дороги, конструкция, области применения. Канатные дороги, классификация, конструкция, основы расчета. Крутонаклонные конвейеры. Классификация, конструкция основных узлов и механизмов. Вертикальные конвейеры, назначение, классификация, основы расчета. Эскалаторы, классификация, конструкция, основы тягового расчета. Пневматический транспорт. Назначение, классификация, конструкция. Расчет основных параметров установок пневмотранспорта. Контейнерный трубопроводный пневмотранспорт. Электрооборудование и системы автоматического управления машин непрерывного транспорта. Основные требования к электрооборудованию машин непрерывного транспорта. Определение исходных параметров для расчета привода. Аппаратура управления и защиты. Электрические схемы управления, защиты, и блокировок. Системы управления многоприводных конвейеров. Системы адресования и путевой автоматики. Применение машин непрерывного транспорта в комплексных транспортно-технологических системах предприятий. Логистика транспортно-складских процессов. Анализ процессов перемещения и складирования грузов. Автоматизированные конвейерно-складские комплексы. Применение конвейеров в транспортной подсистеме гибких автоматизированных производств. Примеры применения конвейеров на предприятиях с массовым и крупносерийным производством.

2. Грузоподъемные машины

Режимы работы грузоподъемных машин, их количественные параметры. ГОСТы, стандарты ISO и нормы Ростехнадзора, связь между ними. Классификация и определение нагрузок весовых, инерционных и от раскачивания груза на канатах, метеорологических, технологических и особых. Действительная нагруженность грузоподъемных машин и методы ее изучения; эквивалентные нагрузки. Расчетные случаи нагрузок. Учет упругопластических деформаций, принципы оптимального проектирования. Основные понятия о надежности грузоподъемных машин. Теория и расчет механизмов грузоподъемных машин: подъема, передвижения, поворота, изменения вылета. Основные схемы механизмов подъема, особенности их конструирования (разновидности соединения вала двигателя с редуктором и редуктора с барабаном) и расчета. Определение передаточного числа и мощности двигателя. Типы применяемых тормозных устройств. Схемы механизмов передвижения с приводными колесами и канатной тягой, особенности их конструирования и расчета; определение сопротивления движению, мощности двигателя, передаточного числа. Области применения и сравнительный анализ механизмов с отдельным приводом, с тихоходным, среднеходным и быстроходным валом. Рельсы и ходовые колеса, их выбор и методы расчета. Определение числа приводных колес из условия отсутствия буксования, типы тормозов. Опорно-поворотные устройства кранов на колонне, на поворотной платформе, на опорно-поворотном круге. Удерживающие устройства. Расчет элементов опор-

но-поворотных устройств. Схемы механизмов вращения, особенности их проектирования и расчета. Определение мощности двигателя и передаточного числа. Типы тормозов. Фундаментные плиты и фундаменты, принципы их расчета. Схемы механизмов изменения вылета стрел (качанием стрелы в вертикальной плоскости и передвижением тележки по стреле). Схемы нагрузок, действующие на стрелу при изменении вылета полиспастом и гидроприводом. Определение мощности двигателя и передаточного числа механизма, предохранительные устройства.

3. Строительные и дорожные машины.

Общее устройство, классификация, расчет машин для земляных работ и особенности их эксплуатации: землеройно-транспортные машины; экскаваторы. Грунты и их классификация и физико-механические свойства. Теория резания грунтов: формулы В.П.Горячкина, Н.Г.Домбровского, Ю.А.Ветрова, определение основных параметров машин, выбор расчетных положений, определение сил и методы расчета на прочность основных узлов. Машины и оборудование для добычи и переработки каменных материалов. Теория разрушения каменных материалов, гипотеза Риттингера, Кирпичева-Кика, Бонда и других ученых. Механика дробилок. Разновидности дробилок и режимы их работы, Определение усилий, действующих на рабочее оборудование, расчеты на прочность. Машины для сепарации каменных материалов. Вероятностная теория сепарации каменных материалов. Выбор основных параметров и расчеты на прочность грохотов. Классификация машин для уплотнения дорожно-строительных материалов теория уплотнения грунтов и битумоминеральных материалов. Работы отечественных и зарубежных ученых. Дорожные машины для строительства асфальтобетонных и цементобетонных дорожных покрытий. Асфальтоукладчики, дорожные катки, определение рациональных параметров и их режимы работы. Новые машины и технологии: «Шатл-Багги», «Компакт –асфальт» и др.. Машины для скоростного строительства автомобильных дорог. Машины и оборудование для ремонта и содержания автомобильных дорог. «Холодный» и «Горячий» Ресайклинг. Машины и оборудование для инъекционного ремонта дорожных одежд. Автоматизация строительных и дорожных машин. Основы теории автоматизации строительных и дорожных машин. Теории управления рабочими процессами строительных и рабочих машин. Системы управления 1D; 2D; 3D и целесообразность использования их в технологических процессах машин. Приводы механизмов строительных и дорожных машин. Обзор типов приводов и их сравнительная оценка. ДВС и Гидропривод. Теоретические основы применения ДВС и Гидропривода в строительных и дорожных машинах.

4. Динамика СДМ и ПТМ.

Динамические нагрузки строительных и дорожных машин, расчетные динамические схемы, методы теоретического и экспериментального определения динамических характеристик строительных и дорожных машин. Динамические расчетные схемы механизмов и металлических конструкций строительных и дорожных машин. Динамические нагрузки при работе механизмов подъема, передвижения, вращения. Методы экспериментального определения динамических характеристик строительных и дорожных машин. Динамические нагрузки грузоподъемных машин, расчетные динамические схемы, методы теоретического и экспериментального определения динамических характеристик грузоподъемных машин. Динамические расчетные схемы крановых механизмов и металлических конструкций. Динамические нагрузки при работе механизмов подъема, передвижения, вращения и изменения вылета. Перекосные нагрузки кранов мостового типа. Методы экспериментального определения динамических характеристик кранов.. Динамика машин непрерывного транспорта. Этапы развития теории по определению динамических нагрузок в тяговом органе конвейера. Теоретические основы динамики конвейеров с тяговым органом. Динамика многоприводных конвейеров. Нагрузки при рабочих процессах конвейеров. Определение упруго-вязких параметров узлов и механизмов конвейеров. Динамика металлических конструкций. Динамические модели, приведенные массы, вычисление собственных частот. Динамические нагрузки. Влияние системы управления.

5. Системы управления механическим оборудованием и их основные задачи

Современные СДМ и ПТМ и их устройства как объекты управления. Требования к системам управления СДМ и ПТМ. Общие сведения о системах управления СДМ и ПТМ. Системы с ручным управлением, полуавтоматическим, автоматическим. Управление по положению, скорости, нагрузке двигателя, системы управления с ЭВМ. Типы систем управления. Основные принципы управления. Управление по разомкнутому контуру, программное управление и с обратной связью. Требования к математическим моделям объектов управления с различными принципами управления. Обобщенная функциональная схема систем управления с обратной связью. Классификация систем управления. Основные задачи управления СДМ и ПТМ. Математическое описание объектов и систем управления СДМ и ПТМ. Объект управления, регулятор, закон управления, задающие и возмущающие воздействия, цель управления. Математическая модель устройств СДМ и ПТМ как объектов управления. Этапы разработки систем управления (на примере управления с обратной связью строительным роботом по трем степеням подвижности): выделение объекта управления, выбор принципа управления, составление математической модели объекта управления с использованием уравнения Лагранжа второго рода, построение линеаризованной модели, составление функциональной схемы системы управления, выбор закона управления. Пропорциональный закон управления: П-регулятор, пропорционально-дифференциальный закон управления: ПД-регулятор, пропорционально-интегрально-дифференциальный закон управления: ПИД-регулятор. Устойчивость линейных объектов и систем управления механическим оборудованием СДМ и ПТМ. Необходимое условие работоспособности управляемого механического оборудования СДМ и ПТМ. Устойчивость устройств и систем управления механическим оборудованием СДМ и ПТМ. Понятие устойчивости положения равновесия и движения. Критерии устойчивости (Рауса – Гурвица, Михайлова, Найквиста, логарифмический критерий устойчивости Найквиста). Запасы устойчивости по амплитуде и фазе. Динамическое конструирование: выбор конструктивных и других параметров управляемого механического оборудования для обеспечения устойчивости объектов и систем управления СДМ и ПТМ. Выделение области устойчивости в плоскости одного и двух параметров (D – разбиение, правила штриховки кривой D – разбиения и особых прямых). Качество линейных систем управления механическим оборудованием СДМ и ПТМ. Качество систем управления оборудованием СДМ и ПТМ. Показатели качества. Динамическое конструирование: выбор конструктивных и других параметров управляемого механического оборудования СДМ и ПТМ для обеспечения заданных показателей быстродействия (производительности), запасов устойчивости, точности управляемого оборудования. Пути увеличения точности систем управления механическим оборудованием. Влияние конструктивных параметров управляемого механического оборудования на быстродействие, запасы устойчивости, точность систем управления. Этапы синтеза систем управления СДМ и ПТМ с обратной связью, удовлетворяющих заданным показателям запасов устойчивости, быстродействия, точности. Нелинейные системы управления СДМ и ПТМ. Типовые нелинейности систем управления СДМ и ПТМ. Особенности динамики нелинейных систем. Автоколебания в нелинейных системах управления СДМ и ПТМ. Гармоническая линеаризация нелинейных элементов. Устойчивость автоколебаний. Динамическое конструирование: выбор параметров нелинейностей и конструктивных параметров для обеспечения приемлемых амплитуд и частот возможных автоколебаний в нелинейных системах управления СДМ и ПТМ. Вибрационное сглаживание нелинейностей в системах управления СДМ и ПТМ. Вынужденные колебания в нелинейных системах управления СДМ и ПТМ.

6. Строительная механика и металлические конструкции.

Основные допущения расчетных методик, линейные системы, статическое нагружение, гипотеза плоских сечений. Кинематический анализ расчетных схем стержневых конструкций, типы опор. Определение степени статической неопределимости и свободы. Расчет статически определимых конструкций на действие неподвижных и подвижных на-

грузок. Принципы определения опорных реакций и внутренних усилий в элементах статически определимых балочных и рамных, жестких и шарнирных конструкций (плоских и пространственных). Фермы. Кинематический анализ. Расчет плоских ферменных конструкций на действие неподвижных нагрузок. Метод вырезания узлов, правила определения нулевых стержней, метод сечений. Простейшие пространственные фермы, их расчет. Перемещения в упругих конструкциях. Принцип возможных перемещений. Работа внешних сил на действительном и возможном перемещении. Формула Мора для пространственной рамы. Определение перемещений балок и ферм с помощью формулы Мора. Теоремы о взаимности работ и перемещений. Вычисление интеграла Мора способом Верещагина. Расчет статически неопределимых конструкций. Свойства статически неопределимых систем. Расчет статически неопределимых конструкций методом сил. Канонические уравнения. Определение единичных перемещений. Проверка решения. Учет погрешностей изготовления и температурных деформаций. Расчет конструкций методом перемещений. Определение степени кинематической неопределимости, канонические уравнения метода перемещений. Определение единичных реакций, построение результирующих эпюр. Понятие о МКЭ, принципы построения, виды конечных элементов, возможности расчета. Общие методы проектирования конструкций. Требования, предъявляемые к конструкциям: функциональные, по надежности, технологические. Виды отказов и критерии работоспособности металлических конструкций. Виды расчетов, классификация нагрузок. Воздействия: механические (силовые) и физико-химические. Климатические воздействия. Системы расчета металлических конструкций (СРДН, СРПС). Расчетные нагрузки металлических конструкций, их классификация. Принципы формирования расчетных случаев и комбинаций. Таблица нагрузок. Нагрузки весовые, инерционные, ветровые, технологические, специальные. Напряженное состояние элементов конструкций. Напряженно-деформированное состояние при продольном нагружении, сдвиге и изгибе, определение нормальных и касательных напряжений. Кручение балок. Центр изгиба тонкостенных стержней. Угол закручивания, жесткость при кручении. Максимальные касательные напряжения при кручении в балках открытого сечения и закрытого. Прочность элементов конструкций. Характеристика явления (пластичность / хрупкость). Условие прочности. Структура расчета на прочность. Сечения элементов конструкций. Способы обеспечения пластичности стали при эксплуатационных температурах. Общая устойчивость сжатых стержней. Расчет и методы обеспечения устойчивости. Расчет сжато-изогнутых стержней по деформированной схеме. Общая устойчивость балок, методы оценки и обеспечения. Местная устойчивость элементов тонкостенных балок. Условия устойчивости для пластин при различных видах нагружения. Структура расчета на местную устойчивость. Методы обеспечения устойчивости пластин. Усталостная кривая сварного узла. Методы определения базовых усталостных характеристик. Влияние качества изготовления и конструктивно-технологических характеристик на долговечность конструкций и методы ее повышения. Расчет на сопротивление усталости при эксплуатационном нагружении. Схематизация нагруженности, приведение к симметричному циклу, эквивалентное стационарное нагружение, условие сопротивления усталости или долговечности. Трещиностойкость конструкций. Основы механики разрушения. Условие неразвития трещины при статическом нагружении. Модель развития усталостной трещины. Материалы для металлических конструкций. Классификация и обозначение сталей. Сечения и сортамент проката. Рациональный выбор материалов для металлических конструкций с учетом условий эксплуатации и экономических требований. Выбор материала с учетом температуры эксплуатации. Проектирование балок. Компоновки и виды сечений балок. Рациональность тонкостенных сечений и их виды. Выбор оптимальных параметров сечения. Технология изготовления балок. Расчет ездовых балок (подвесных, с рельсом над стенкой и посередине пояса). Напряженное состояние в области действия местных нагрузок. Условие прочности и сопротивления усталости. Проектирование ферм. Выбор сечения стержней, проектирование узлов. Расчет ездовых поясов с учетом местного давления от колеса тележки. Расчет и про-

ектирование соединений. Сварные соединения. Виды сварки и сварных швов. Дефекты сварки. Расчет сварных соединений с полным проваром корня и с угловыми швами. Расчет сварного соединения балки с фланцем. Расчет болтовых соединений. Соединения на накладках и фланцевые. Распределение усилий между болтами, выбор болтов. Проектирование металлических конструкций машин. Особенности проектирования несущих конструкций кранов мостового типа. Характерные сечения пролетных балок. Строительный подъем. Расчет конструкции козлового крана. Расчет элементов стрелы одноковшового экскаватора. Нагрузки и расчетные модели.

Вопросы к экзамену:

1. Классификация, новые направления развития. Грузонесущие конвейеры. Область применения, конструкция. Особенности тягового расчета.
2. Подвесные толкающие конвейеры. Классификация, устройство, области применения. Конструкции механизмов автостопа и основы их расчета.
3. Канатные дороги, классификация, конструкция, основы расчета.
4. Вертикальные конвейеры, назначение, классификация, основы расчета.
5. Эскалаторы, классификация, конструкция, основы тягового расчета.
6. Пневматический транспорт. Назначение, классификация, конструкция. Расчет основных параметров установок пневмотранспорта.
7. Электрооборудование и системы автоматического управления машин непрерывного транспорта. Основные требования к электрооборудованию машин непрерывного транспорта. Определение исходных параметров для расчета привода.
8. Системы управления многоприводных конвейеров. Системы адресования и путевой автоматики.
9. Логистика транспортно-складских процессов. Анализ процессов перемещения и складирования грузов. Автоматизированные конвейерно-складские комплексы.
10. Режимы работы грузоподъемных машин, их количественные параметры. ГОСТы, стандарты ISO и нормы Ростехнадзора, связь между ними. Классификация и определение нагрузок весовых, инерционных и от раскачивания груза на канатах, метеорологических, технологических и особых.
11. Действительная нагруженность грузоподъемных машин и методы ее изучения; эквивалентные нагрузки. Расчетные случаи нагрузок. Учет упругопластических деформаций, принципы оптимального проектирования.
12. Основные понятия о надежности грузоподъемных машин. Теория и расчет механизмов грузоподъемных машин: подъема, передвижения, поворота, изменения вылета.
13. Основные схемы механизмов подъема, особенности их конструирования (разновидности соединения вала двигателя с редуктором и редуктора с барабаном) и расчета. Определение передаточного числа и мощности двигателя.
14. Особенности математического моделирования динамики роботов при учете упругости звеньев и соединений в шарнирах для позиционного и контурного управления. Методика моделирования в среде Simulink
15. Типы применяемых тормозных устройств. Схемы механизмов передвижения с приводными колесами и канатной тягой, особенности их конструирования и расчета; определение сопротивления движению, мощности двигателя, передаточного числа. Области применения и сравнительный анализ механизмов с отдельным приводом, с тихоходным, среднеходным и быстроходным валом. Рельсы и ходовые колеса, их выбор и методы расчета. Определение числа приводных колес из условия отсутствия буксования, типы тормозов
16. Динамика машин непрерывного транспорта. Этапы развития теории по определению динамических нагрузок в тяговом органе конвейера. Теоретические основы динамики конвейеров с тяговым органом. Динамика многоприводных конвейеров.

17. Машины и оборудование для добычи и переработки каменных материалов. Теория разрушения каменных материалов, гипотеза Риттингера, Кирпичева-Кика, Бонда и других ученых.

18. Механика дробилок. Разновидности дробилок и режимы их работы, Определение усилий, действующих на рабочее оборудование, расчеты на прочность

19. . Машины для сепарации каменных материалов. Вероятностная теория сепарации каменных материалов. Выбор основных параметров и расчеты на прочность грохотов.

20. Асфальтоукладчики, дорожные катки, определение рациональных параметров и их режимы работы. Новые машины и технологии: «Шатл-Багги», «Компакт –асфальт» и др.

21. Автоматизация строительных и дорожных машин. Основы теории автоматизации строительных и дорожных машин. Теории управления рабочими процессами строительных и рабочих машин. Системы управления 1D; 2D; 3D и целесообразность использования их в технологических процессах

22. Приводы механизмов строительных и дорожных машин. Обзор типов приводов и их сравнительная оценка. ДВС и Гидропривод. Теоретические основы применения ДВС и Гидропривода в строительных и дорожных машинах.

23. Динамические нагрузки строительных и дорожных машин, расчетные динамические схемы, методы теоретического и экспериментального определения динамических характеристик строительных и дорожных машин. Динамические расчетные схемы механизмов и металлических конструкций строительных и дорожных машин. Динамические нагрузки при работе механизмов подъема, передвижения, вращения

24. Динамика машин непрерывного транспорта. Этапы развития теории по определению динамических нагрузок в тяговом органе конвейера

25. Динамика металлических конструкций. Динамические модели, приведенные массы, вычисление собственных частот. Динамические нагрузки. Влияние системы управления.

26. Современные СДМ и ПТМ и их устройства как объекты управления. Требования к системам управления СДМ и ПТМ. Общие сведения о системах управления СДМ и ПТМ.

27. Устойчивость линейных объектов и систем управления механическим оборудованием СДМ и ПТМ Необходимое условие работоспособности управляемого механического оборудования СДМ и ПТМ. Критерии устойчивости (Рауса – Гурвица, Михайлова, Найквиста, логарифмический критерий устойчивости Найквиста). Запасы устойчивости по амплитуде и фазе.

28. Динамическое конструирование: выбор конструктивных и других параметров управляемого механического оборудования для обеспечения устойчивости объектов и систем управления СДМ и ПТМ. Выделение области устойчивости в плоскости одного и двух параметров (Д – разбиение, правила штриховки кривой Д – разбиения и особых прямых).

29. Качество линейных систем управления механическим оборудованием СДМ и ПТМ. Качество систем управления оборудованием СДМ и ПТМ. Показатели качества. Динамическое конструирование: выбор конструктивных и других параметров управляемого механического оборудования СДМ и ПТМ для обеспечения заданных показателей быстродействия (производительности), запасов устойчивости, точности управляемого оборудования. Пути увеличения точности систем управления механическим оборудованием. Влияние конструктивных параметров управляемого механического оборудования на быстродействие, запасы устойчивости, точность систем управления.

30. Основные допущения расчетных методик, линейные системы, статическое нагружение, гипотеза плоских сечений. Кинематический анализ расчетных схем стержневых конструкций, типы опор. Определение степени статической неопределимости и свободы.

31. Расчет статически определимых конструкций на действие неподвижных и подвижных нагрузок. Принципы определения опорных реакций и внутренних усилий в элементах статически определимых балочных и рамных, жестких и шарнирных конструкций (плоских и пространственных).

32. Расчет на сопротивление усталости при эксплуатационном нагружении. Схематизация нагруженности, приведение к симметричному циклу, эквивалентное стационарное нагружение, условие сопротивления усталости или долговечности. Трещиностойкость конструкций.

33. Проектирование ферм. Выбор сечения стержней, проектирование узлов. Расчет ездовых поясов с учетом местного давления от колеса тележки. Расчет и проектирование соединений.

34. Сварные соединения. Виды сварки и сварных швов. Дефекты сварки. Расчет сварных соединений с полным проваром корня и с угловыми швами. Расчет сварного соединения балки с фланцем. Расчет болтовых соединений.

Основная литература

1. Черненко В.Д. Расчет средств непрерывного транспорта. Учебное пособие – СПб.: Политехника, 2008. – 386 с.
2. Пертен Ю.А. Конвейерные системы. Часть I и II: Справ. – СПб.: НПО «Профессионал», – 2008. I ч. – 588 с, II ч. – 508 с.
3. Смирнов В.Н. Подвесные конвейеры. Теория динамического расчета, прогнозирование тенденций развития.- СПб.: Изд-во Политехнического у-та, 2006.-267 с.
4. Дорожно-строительные машины и комплексы. Учебник для вузов по специальности “Строительные и дорожные машины и оборудование”/ Под ред. В.И.Баловнева-Машиностроение, 1988.-384 с.ил.
5. Сергеев В.П. Строительные машины и оборудование. Учебник для вузов по спец. ”Строительные машины и оборудование” – М.: Высш. Шк., 1987.-376 с.
6. Ложечко В.П., Шестопалов А.А. Строительные и дорожные машины Машины для уплотнения грунта и асфальтобетонных смесей.. Л.,СПбГПУ, 2006-65с.
7. Александров М.П. Грузоподъемные машины: Учебник для вузов - М.: Высшая школа, 2000 - 552 с.
8. Справочник по кранам: В 2 т./Под общей ред. М.М. Гохберга- Л.: Машиностроение, 1988.-Т.1: 536 с; Т.2: 560 с.
9. Соколов С.А. Строительная механика и металлические конструкции машин: Учебник с грифом УМО. СПб.: Политехника, 2011, 450с
10. Макаров И.М., Менский Б.П. Линейные автоматические системы. М.: Машиностроение. 1982.
11. Нагорный В.С. Динамическое конструирование управляемого механического оборудования /Пособие к лабораторным работам. СПб.: Изд.-во СПбГПУ, 2014.

Дополнительная литература

1. Дорожные машины. Ч. 11, Машины для устройства дорожных покрытий. Артемьев К.А. и др.- М.: Машиностроение, 1982.- 396 с.
2. Хархута и др. Дорожные машины. Теория, конструкция и расчет. Изд-е 2-е дополн. и перераб. –Л.: Машиностроение, 1976. –472 с.
3. М.С.Медик-Багдасаров и др. Строительство и ремонт дорожных асфальтобетонных покрытий, Белгород, МАДИ, 2007 г.
4. Бортяков Д.Е., Орлов А.Н. Грузоподъемные машины. Учеб. пособие/СПб. Гос. Техн. ун-т.-СПб, 1995.-88 с.
5. Петухов П.З., Ксюнин Г.П., Серлин Л.Г. Специальные краны: Учебное пособие.-М.: Машиностроение, 1985.-248 с.

6. Серлин Л.Г. Задачи и упражнения для самостоятельной работы по курсам "Специальные краны и грузоподъемные машины".-Ленинград, 1987.-59 с.
7. Манжула К.П., Петин С.В. Прочность и долговечность конструкций при переменных нагрузках. Учебное пособие. СПб. – СПбГТУ.- 2001. - 76 с.
8. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. М.: Наука. 1972.
9. Нагорный В.С. Выбор параметров объектов и устройств управления механическим оборудованием с использованием ЭВМ /Пособие к курсовому проектированию. СПб.: Изд-во СПбГПУ. 2014
10. Попов Е.П. Теория линейных систем автоматического регулирования и управления. М.: Наука. 1978.