

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»
(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова)

Кафедра **И8 «Системы приводов, мехатроника и робототехника»**
(наименование)

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по НР и ИР
БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова
С.А. Матвеев
2022г.



**Программа вступительного испытания по специальности
основной образовательной программы высшего образования – программы
подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре**

Группа научных специальностей «Машиностроение»
(специальности «2.5.2 Машиноведение», «2.5.4 Роботы, мехатроника и робототехнические системы», «2.5.10 Гидравлические машины, вакуумная, компрессорная техника, гидро- и пневмосистемы»)

Санкт-Петербург
2022 г.

1 Организация вступительного испытания

Вступительное испытание по специальности основной образовательной программы высшего образования – программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлениям «2.5.2 Машиноведение», «2.5.4 Роботы, мехатроника и робототехнические системы», «2.5.10 Гидравлические машины, вакуумная, компрессорная техника, гидро- и пневмосистемы» проводятся в форме экзамена.

Вопросы, выносимые на экзамен, приведены далее по разделам.

Структура механизмов

Классификация кинематических пар. Структурные формулы механизмов. Понятие структурной группы. Голономные (геометрические) и неголономные связи в механизмах. Локальные и структурные избыточные связи. Влияние избыточных связей на характеристики механизмов. Методы выявления избыточных связей и местных подвижностей механизма.

Структурный синтез механизмов

Кинематический анализ плоских и пространственных механизмов с низшими кинематическими парами. Функция положения механизмов и кинематические передаточные функции. Аналогии скоростей, ускорений, передаточные отношения. Основные методы определения положений, скоростей и ускорений звеньев и точек на звеньях плоских и пространственных механизмов с низшими кинематическими парами. Методы анализа кинематики открытых (плоских и пространственных) кинематических цепей. Синтез (методы проектирования) механизмов. Передаточные и направляющие механизмы. Входные и выходные характеристики двигателей. Параметры синтеза механизмов. Механизмы с высшими кинематическими парами. Основная теорема зацепления. Методы построения сопряженных профилей. Кулачковые механизмы. Синтез кулачковых механизмов по заданному закону перемещения выходного звена. Оптимизация параметров кулачковых механизмов.

Элементы исполнительных систем

Механизмы с пневматическими, гидравлическими и электрическими приводами; статические и динамические. Основные виды передач. Простые зубчатые механизмы (эвольвентные, цевочные, передача Новикова, конические, винтовые, гипоидные, спироидные). Зубчато-рычажные механизмы. Механизмы прерывистого движения. Качественные характеристики. Многозвенные зубчатые механизмы с неподвижными и подвижными осями. Основные методы разбивки передаточного отношения по ступеням. Планетарные механизмы, волновые

передачи, дифференциалы, коробки скоростей. Методы определения передаточных чисел сложных планетарных механизмов. Ограничения на число зубьев и число сателлитов. Определение сил реакций в кинематических парах без учета и с учетом трения. Условия статической определимости механизма. Трение в высших и низших кинематических парах. Подшипники и фрикционные устройства. Основные закономерности изменения коэффициента трения скольжения.

Основы проектирования механизмов и приводов

Структурные группы (группы Ассура). Графический и численный методы силового расчета. Работа сил трения. КПД машин циклического действия, КПД машин при последовательном и параллельном соединении механизмов. Виды неуравновешенности механизмов, полное и частичное статическое уравновешивание механизмов. Особенности уравновешивания открытых кинематических цепей. Статическая и динамическая балансировка роторов. Динамические модели мантии с одной и несколькими степенями свободы. Приведение сил и масс. Уравнения движения машинного агрегата в энергетической форме и в форме моментов. Особенности учета переменности инерционных параметров. Методы исследования движения машинного агрегата при силах, зависящих от положения и скорости. Установившиеся и переходные процессы в машинных агрегатах. Критерии оценки движения. Области применения роботов-манипуляторов. Экономические, социальные и технические аспекты использования промышленных роботов-манипуляторов. Основные системы манипуляционной робота: механическая рука, система управления. Проблемы структурно-кинематического синтеза механической руки; прямые и обратные задачи кинематики. Принципы построения передаточных механизмов. Статическое уравновешивание звеньев робота.

Колебания

Причины, источники колебаний в механизмах и машинах. Методы исследования колебаний. Воздействие колебаний на человека-оператора и технические объекты. Основные методы виброзащиты. Пассивные и активные виброзащитные системы. 50. Схемы работы машин. Тактограммы работы машин. Механические системы управления. Применение компьютерной техники в системах управления. Особенности механизмов и средств автоматизации технологического оборудования. Основные задачи эксперимента на стадии проектирования, производства и эксплуатации машин. Методы экспериментального определения технических параметров машин.

Основы мехатроники

Понятие мехатронной системы. Принцип синергетической интеграции элементов мехатронной системы. Примеры мехатронных модулей и систем, их классификация, особенности конструкции. Типы управляющих устройств, применяемых для управления промышленными роботами и робототехнологическими комплексами. Особенности систем компьютерного управления движением. Обобщённая структура мехатронной системы. Принцип программно-аппаратной интеграции при реализации мехатронной системы. Прецизионные механические подсистемы в мехатронике, особенности их конструкции и компоновки.

Системы управления в робототехнике

Кинематическое управление манипулятором (по положению, по вектору скорости, по вектору силы). Дистанционное полуавтоматическое, командное и копирующее управление. Уравнения динамики манипулятора в форме уравнений Лагранжа второго рода. Функциональное назначение и классификация роботов по областям применения.

Проектирование роботов

Промышленные роботы, типовые конструкции отечественных и зарубежных промышленных роботов. Классификация промышленных роботов по типу кинематической схемы. Обобщённая функциональная схема, элементы и подсистемы роботов. Манипуляторы, схваты и рабочие органы, силовые агрегаты, механизмы разгрузки, системы очувствления, управляющие устройства, средства передвижения. Системный подход при проектировании мехатронных систем. Методы моделирования и автоматизированного проектирования. Определение обобщённых координат, скоростей и ускорений звеньев манипулятора. Понятие робототехнической системы (РТС). Структура и компоненты РТС. Робототехника в современном автоматизированном производстве. Мобильные роботы. Особенности конструкции и управления. Области применения.

Приводы роботов

Приводы переменного тока. Устройство и механические характеристики асинхронных двигателей. Современные приводы на основе асинхронных двигателей и векторного управления. Классификация приводов, используемых в робототехнике и мехатронике. Электромеханические, электрогидравлические и электропневматические приводы в робототехнике и мехатронике. Энергетический расчет силовых агрегатов и принципы выбора их элементов. Типовые режимы работы и диаграммы нагрузки. Тепловой расчёт. Импульсное регулирование частоты вращения. Применение широтноимпульсной

модуляции. Механические характеристики двигателя постоянного тока при широтно-импульсном управлении.

Информационные системы роботов

Классификация информационных устройств, применяемых в робототехнике и мехатронике. Датчики внешней и внутренней информации. Датчики положения, скорости, ускорения, сил и моментов, тактильные датчики. Системы технического зрения, их структура и аппаратные средства. Предварительная обработка информации. Распознавание зрительных образов. Анализ двумерных и трёхмерных сцен. Требования к технологическому процессу и конструкции изделий, обусловленные роботизацией. Принципы построения информационной структуры компьютеризированного производства, использующего РТС. Обобщенная функциональная схема эргодической (человеко-машинной) системы. Интерфейсы в системе «человек – робототехническая система». Способы взаимодействия оператора с роботом. Полуавтоматическое и командное управление, копирующее управление манипулятором. Системы силомоментного очувствления, конструкции датчиков, способы обработки сигналов. Применение роботов с силомоментным очувствлением

Основы теории управления

Основные понятия теории управления: цели и принципы управления, динамические системы. Математическое описание объектов управления: пространство состояний, передаточные функции, структурные схемы. Основные задачи теории управления: стабилизация, слежение, программное управление, оптимальное управление, экстремальное регулирование. Классификация систем управления. Автоматические и автоматизированные системы управления (АСУ) технологическими процессами (ТП) и производствами. Основные подходы к анализу и синтезу автоматических и автоматизированных управляемых систем. Структуры систем управления: разомкнутые системы, системы с обратной связью, комбинированные системы. Динамические и статические характеристики систем управления: переходная и весовая функции и их взаимосвязь, частотные характеристики. Типовые динамические звенья и их характеристики. Понятие об устойчивости систем управления. Устойчивость по Ляпунову, асимптотическая, экспоненциальная устойчивость. Устойчивость по первому приближению. Функции Ляпунова. Теоремы об устойчивости и неустойчивости.

Гидромашины и гидроприводы

Структурные и принципиальные схемы объемных гидроприводов, гидродинамических передач, следящих и электрогидроприводов. Сравнительная оценка. Область применения систем гидроприводов. Объемные гидравлические машины. Их классификация,

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

Методы регулирования в гидроагрегатах

Направляющие и регулирующие гидрораспределители для управления объемными гидродвигателями. Регулирующие гидроаппараты. Основные типы регулирующих гидроаппаратов. Основные виды и характеристики постоянных дросселей. Основные виды регулируемых дросселей и их особенности при использовании в системах гидроавтоматики. Золотниковые дросселирующие гидрораспределители. Объемные статические и энергетические характеристики золотниковых гидрораспределителей, работающих от источников с постоянным давлением, а также от источников с постоянным расходом. Силы, действующие на золотниках. Основные характеристики регулируемого дросселя "сопло-заслонки". Силы, действующие на заслонку. Одно и двухщелевой дросселирующий гидрораспределитель типа "сопло-заслонка". Обобщенные статические и энергетические характеристики. Гидрораспределители со струйной трубкой. Основные схемы. Статические и энергетические характеристики.

Объемное регулирование

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

Дроссельное регулирование

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

гидравлических исполнительных механизмов с дроссельным регулированием. Влияние геометрических характеристик распределителей на характеристики исполнительных механизмов. Мощность и коэффициент полезного действия гидравлических исполнительных механизмов. Нагрев рабочей жидкости в системах дроссельного управления. Динамические характеристики гидравлического исполнительного механизма дроссельного управления. Математические модели идеального и реального исполнительного механизма. Динамические характеристики гидравлических следящих систем дроссельного регулирования. Уравнение движения гидравлической следящей системы дроссельного управления с учетом сжимаемости и перетечек жидкости. Демпфирование. Устойчивость, методы повышения устойчивости.

Гидравлические усилители мощности

Основные схемы, характеристики и параметры гидравлических усилителей мощности: без обратной связи, с обратной связью по положению распределительного золотника, по расходу жидкости и нагрузке исполнительного механизма. Статические и динамические характеристики гидравлических усилителей без обратной связи. Статические и динамические характеристики гидравлических усилителей с обратной связью по перемещению распределительного золотника. Электрогидравлические следящие системы. Основные принципы построения.

Основные элементы электрогидравлических систем.

Электрические усилители, датчики положения, датчики скорости, датчики давления постоянного и переменного тока. Электромеханические преобразователи. Принципы работы, схемы. Статические и динамические характеристики и их связь с основными параметрами. Электрогидравлические усилители-преобразователи. Основные принципы схемного построения. Статические и динамические характеристики. Сравнительный анализ.

Электрогидравлические следящие приводы.

Основные схемы. Принципы построения. Методы обеспечения устойчивости и повышения добротности. Синтез корректирующих электрических и гидромеханических устройств. Электрогидравлические приводы с широтно-импульсным управлением. Основные схемы. Статические характеристики. Методы повышения устойчивости. Методы синтеза гидроприводов. Методы коррекции. Анализ характеристик приводов при случайных воздействиях. Аналоговая гидравлическая техника. Электрогидравлическая аналогия вне установившемся режиме. Функциональные гидравлические сопротивления.

2. Порядок приема и критерии оценивания экзамена

2.2.1. Аспирант (соискатель) сдает экзамен в устной или письменной форме.

2.2.2. Аспиранту (соискателю) задается 3 вопроса: 1 вопрос по основной программе (см. п. 2.1) и 2 вопроса по одной из дополнительных программ. За ответ по каждому из вопросов ставится оценка по пятибалльной системе.

2.2.3 Общая оценка за экзамен определяется как средняя из оценок по трем вопросам при условии, что они все положительные. Если результирующее значение имеет вид дроби с дробной частью $\frac{1}{2}$, производится округление к большему значению.

2.2.4 Необходимость пересдачи экзамена возникает только в случае смены темы диссертационной работы, приводящей к изменению научной специальности.

3. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

3.1 Рекомендуемая основная литература

1. Подураев Ю.В. Основы мехатроники; Учебное пособие-МГТУ «СТАНКИН». 2000- 80с 12 экз.
2. Лукинов А. П. Проектирование мехатронных и робототехнических устройств: Учебное пособие. — СПб.: Издательство «Лань», 2012. — 608 с.: ил. (+ CD) — (Учебники для вузов. Специальная литература). 10 экз.
3. Балковой.А.П. Прецизионный электропривод с вентильными двигателями/А.П. Балковой, В.К.Цаценкин. – М. Издательский дом МЭИ, 2010 – 328с.; ил.
4. Войтович И.Д., Корсунский В.М.
5. Интеллектуальные сенсоры.- Интернет университет информационных технологий. – 2010.
6. Е. И. Юревич. Основы робототехники. СПб.: БХВ-Петербург, 2007, 41 экз.
7. К. А. Пупков, Н. Д. Егупов, А. И. Гаврилов. Методы робастного, нейронечёткого и адаптивного управления. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002, 19 экз.
8. Р. Дорф, Р. Бишоп. . Современные системы управления. М.: Лаб. Базовых Знаний, 2002, 18 экз.
9. С. Л. Зенкевич, А. С. Ющенко. . Основы управления манипуляционными роботами. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2004, 43 экз.
10. Робототехнические системы и комплексы: Учебное пособие / Х.Н. Назаров.; Ташкентский государственный технический университет, Ташкент. 2004, 101
11. Ройтенберг Я.Н. Автоматическое управление. М.: Наука, 1992.
12. Теория автоматического управления. Ч. 1 и 2 / Под ред. А.А. Воронова. М.: Высшая школа, 1986.
13. Попов Е.Н. Теория нелинейных систем автоматического управления. М.: Наука, 1988.
14. Методы классической и современной теории автоматического управления: Уч. в 3-х т. М.: Изд. МГТУ, 2000.

15. Емельянов С.В., Коровин С.К. Новые типы обратной связи. Управление при неопределенности. М.: Наука, 1997.
16. Рыков А.С. Методы системного анализа: оптимизация. М.: Экономика, 1999.
17. Мамиконов А.Г. Теоретические основы автоматизированного управления. М.: Высшая школа, 1994.
18. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: Теория и практика. М.: Наука, 1986.
19. Вихров Н.М., Гаскаров Д.В. Грищенко А.А., Шнуренко А.А. Управление и оптимизация производственно-технологических процессов / Под ред. Д.В. Гаскарова. СПб.: Энергоатомиздат, Санкт-Петербургское отд., 1995.
20. Кузнецов Н.А., Кульба В.В., Ковалевский С.С., Косяченко С.А. Методы анализа и синтеза модульных информационно-управляющих систем. М.: Физматлит, 2002.

3.2 Дополнительная литература

1. И. А. Каляев, В. М. Лохин, И. М. Макаров. . Интеллектуальные роботы. М.: Машиностроение, 2007, 3 экз.
2. К. А. Пупков, Н. Д. Егупов, А. И. Баркин. Методы классической и современной теории автоматического управления. Т. 3 Методы современной теории автоматического управления. БГТУ "ВОЕНМЕХ" им. Д. Ф. Устинова, , 1 экз.
3. Клир Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач. М.: Радио и связь, 1990..
4. Иванов В.А., Ющенко А.С. Теория дискретных систем автоматического управления. М.: Наука, 1983.
5. Воронов А.А. Введение в динамику сложных управляемых систем. м.: Наука, 1985.
6. Первозванский А.А. Курс теории автоматического управления. М.: Наука, 1986.
7. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Г. Базы знаний интеллектуальных систем. СПб.: Питер, 2000.

3.3 Электронные (образовательные, информационные, справочные, нормативные и т.п.) ресурсы:

1. <http://e.lanbook.com/> — ЭБС Лань;
2. <https://urait.ru/> — Образовательная платформа «Юрайт». Для вузов и ссузов.;
3. <https://repository.library.voenmeh.ru/jspui/> — электронная библиотека "Военмех";