

ПРОГРАММА
ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА В МАГИСТРАТУРУ
ПО НАПРАВЛЕНИЮ
27.04.04 «УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ»

ФАКУЛЬТЕТ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ИНФОРМАТИКИ

Кафедра Автоматики и процессов управления

Санкт-Петербург

СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ

Раздел 1. Теория автоматического управления

1. Основные понятия теории управления

Основные задачи теории управления. Понятие об управлении и системах управления. Виды объектов управления. Основные структуры и принципы управления. Типовые законы управления.

2. Линейные модели и характеристики непрерывных систем управления

Модели вход-выход: дифференциальные уравнения n -го порядка; передаточные функции; временные и частотные характеристики. Построение временных и частотных характеристик.

Модели вход-состояние-выход. Взаимосвязь форм представления моделей: взаимосвязь между дифференциальным уравнением и передаточной функцией; получение передаточной функции и дифференциального уравнения по модели в форме пространства состояний; переход от дифференциального уравнения к форме пространства состояний. Получение канонических форм представления моделей: наблюдаемой, управляемой, диагональной.

Типовые динамические звенья. Системы уравнений, структурные схемы и сигнальные графы. Характеристики систем управления с типовой и нетиповой структурой. Эквивалентные преобразования структурных схем. Формула Мэсона (Мейсона).

Управляемость и наблюдаемость систем управления. Критерии управляемости и наблюдаемости. Принцип дуальности.

Системы управления с элементами запаздывания.

3. Анализ систем управления

Задачи анализа систем управления. Устойчивость по начальным условиям, устойчивость по входу-выходу. Суждение об устойчивости линейной системы по корням характеристического полинома. Необходимое условие устойчивости: критерий устойчивости Стодолы. Критерии устойчивости Гурвица и Рауса. Критерий устойчивости Михайлова. Устойчивость систем с типовой структурой. Критерий устойчивости Найквиста.

Инвариантность систем управления. Формы инвариантности. Селективная инвариантность к степенным и гармоническим воздействиям. Инвариантность систем с типовой структурой.

Чувствительность систем управления. Функции чувствительности. Чувствительность систем с типовой структурой.

Анализ качества свободных и вынужденных процессов управления.

Анализ устойчивости систем с элементами запаздывания.

4. Синтез систем управления

Задачи синтеза систем управления. Стабилизация неустойчивых объектов управления, представленных в форме дифференциального уравнения. Стабилизация неустойчивых объектов управления, представленных в форме пространства состояний. Аналитическое конструирование оптимальных регуляторов. Синтез наблюдателя состояний. Синтез следящих систем по требованию к точности воспроизведения задающего воздействия: степенного, гармонического. Коррекция систем управления.

5. Анализ и синтез линейных систем управления при случайных воздействиях

Случайные воздействия. Преобразование случайного сигнала линейным звеном. Анализ объекта и замкнутой системы управления при случайных воздействиях. Способы вычисления дисперсии случайного сигнала. Использование идеального белого шума в качестве модели среды. Понятие о формирующем фильтре.

Постановка задачи синтеза. Синтез оптимальной системы с заданной структурой. Синтез оптимальной системы с произвольной структурой: интегральное уравнение ВинераХопфа. Определение оптимальной передаточной функции фильтра Винера с учетом физической реализуемости. Синтез оптимальной системы в пространстве состояний. Фильтр Калмана-Бьюси.

6. Анализ и синтез цифровых и импульсных систем управления

Классификация систем по виду квантования сигналов. Структурные схемы импульсных и цифровых автоматических систем. Числовые последовательности и разностные уравнения. Z-преобразование и его свойства. Дискретная передаточная функция. Модели дискретных систем в пространстве состояний.

Устойчивость дискретных систем. Критерии устойчивости. Решение разностных уравнений и анализ процессов в цифровых и импульсных системах управления. Особенности временных и частотных характеристик дискретных систем. Установившиеся процессы в дискретных системах управления.

Особенности синтеза цифровых и импульсных систем. Методы синтеза по дискретным моделям. Стабилизация неустойчивых объектов управления. Синтез регулятора и наблюдателя состояний. Синтез дискретных систем по требованию к точности воспроизведения задающего воздействия и подавления возмущений. Выбор периода дискретизации времени в системах цифрового управления непрерывными объектами.

8. Нелинейные модели систем управления

Необходимость в нелинейных моделях. Безынерционные и динамические нелинейные элементы. Равновесные режимы. Анализ равновесных режимов по дифференциальным уравнениям и структурным схемам. Построение статических характеристик систем с типовой и произвольной структурой.

9. Анализ и синтез нелинейных систем управления

Метод фазовой плоскости. Поведение нелинейных систем в окрестности положений равновесия. Методы построения фазовых портретов. Особенности фазовых портретов нелинейных систем.

Понятие об устойчивости невозмущенного движения. Первый метод Ляпунова. Второй (прямой) метод Ляпунова. Применение второго метода. Частотный метод исследования абсолютной устойчивости. Круговой критерий.

Основные положения приближенного метода гармонического баланса. Гармоническая линеаризация (эквивалентирование) нелинейного элемента. Способы вычисления коэффициентов гармонической линеаризации. Методики определения параметров периодических режимов. Устойчивость периодических режимов.

Особенности синтеза нелинейных систем. Синтез по требованиям к положениям равновесия. Синтез по линеаризованным моделям. Синтез с помощью критерия абсолютной устойчивости. Синтез на основе метода гармонического баланса.

Раздел 2. Моделирование систем управления

1. Модели и моделирование. Основные понятия и определения

Понятие моделирования: объект моделирования; модель, её назначение и функции; частные модели. Натурный (физический) и вычислительный эксперименты, их достоинства и недостатки. Полунатурное моделирование.

Принципы построения и исследования математических моделей. Общая схема разработки математических моделей систем управления. Этапы математического моделирования. Основные требования к математическим моделям.

2. Введение в теорию подобия

Изоморфные модели. Преобразование подобия. Константы подобия. Прямая (первая) теорема подобия. Критерии подобия. Преобразование подобия для моделей, представленных дифференциальными уравнениями. Применение преобразования подобия при моделировании.

3. Представление моделей систем в форме уравнений Лагранжа

Получение уравнений Лагранжа на основе принципа Гамильтона. Модели консервативных и диссипативных систем.

4. Представление моделей систем в форме уравнений Гамильтона

Получение канонических уравнений Гамильтона. Свойство гамильтониана для консервативных систем. Сжатие фазового «объёма» диссипативных систем; дивергенция вектора фазовой скорости. Свойства диссипативных систем.

5. Метод балансовых соотношений

Принцип балансовых соотношений для построения моделей технической и нетехнической природы. Логистические модели.

6. Представление математических моделей систем управления по степени информативности

Частные и обобщённые модели систем управления. Ранги неопределённости причинно-следственных отношений моделей. Модели систем управления 1-го (топологического) ранга неопределённости. Теоретико-множественная (теоретико-графовая) форма представления: основные понятия теории графов; неориентированные и ориентированные гиперграфы. Алгебраическая (матричная) форма представления (матрицы смежности, инцидентности, изоморфности). Алгоритм определения контуров графа с помощью матрицы смежности.

Модели систем управления 2-го (структурно-операторного) и 3-го (параметрического) рангов неопределённости. Модели внешней среды. Модели связей системы со средой. Модели смешанных рангов неопределённости.

Представление моделей в форме пространства состояний. Нормальная форма Коши. Общее и частное решения. Условия существования и единственности решений дифференциальных уравнений.

Разнообразие форм представления моделей «вход-состояние-выход»: линейные; билинейные; аффинные. Первый интеграл и его свойства.

Представление моделей в форме системы дифференциальных уравнений различных порядков.

7. Методы анализа статических (равновесных) режимов моделей систем управления

Численные методы анализа статики: метод установления, итерационные методы. Каноническая форма представления итерационного метода. Метод релаксации и его геометрическая интерпретация. Метод Ньютона и его геометрическая интерпретация. Модификации метода Ньютона. Контроль сходимости метода Ньютона. Нелинейные и гибридные итерационные методы. Повышение надёжности сходимости итерационных методов.

8. Методы анализа динамических (переходных) режимов моделей систем управления с сосредоточенными параметрами

Численные методы анализа моделей с сосредоточенными и распределёнными параметрами; дискретизация и континуализация. Задачи анализа динамики и основные понятия методов численного моделирования: сетка; сходимость в точке и на отрезке; порядок точности; порядок погрешности аппроксимации. Явные и неявные методы.

Методы Рунге–Кутты. Двухэтапные методы (метод предиктора-корректора). Явный m -этапный метод Рунге–Кутты.

Многошаговые разностные методы: явные m -шаговые методы Адамса–Бэшворта; неявные m -шаговые методы Адамса–Мултона.

Устойчивость многошаговых разностных методов. Условно устойчивые и абсолютно устойчивые разностные методы.

Жёсткие модели систем управления, их особенности. Критерии жёсткости для стационарных и нестационарных линейных и нелинейных моделей. Чисто неявные разностные методы (m -шаговые методы Гира).

Погрешности моделирования систем управления численными методами.

9. Методы анализа моделей систем управления с распределёнными параметрами

Особенности моделей систем с распределёнными параметрами. Модели систем управления с распределёнными параметрами в форме канонического линейного дифференциального уравнения 2-го порядка. Классификация уравнений: эллиптические; параболические; гиперболические. Примеры уравнений эллиптического типа: Лапласа; Пуассона; Гельмгольца. Примеры уравнений параболического типа: процессы теплопередачи; диффузии. Примеры уравнений гиперболического типа: волновые процессы.

Краевые задачи: задача Дирихле; задача Неймана; задача смешанного типа.

Модели процессов распространения тепла в объектах управления. Передаточные функции полузапаздывающего (с распределённым запаздыванием), полуинтегрирующего и полуинерционного звеньев.

Численные методы анализа динамики моделей систем управления с распределёнными параметрами (на примере уравнения теплопроводности). Основные понятия: пространственно-временная сетка; внутренние и граничные узлы; слой. Четырёхточечный шаблон. Послойное решение. Условия устойчивости. Чисто неявная разностная схема. Шеститочечный шаблон.

10. Хаотические модели

Детерминированные, случайные и хаотические процессы (детерминированный хаос). Колебательные процессы в линейных и нелинейных моделях: гармонические и

полигармонические, периодические и квазипериодические (почти периодические) колебания; предельные циклы. Основные признаки хаотического поведения.

Определения аттрактора, странного аттрактора, хаотической модели. Инвариантное множество. Сверхчувствительность к начальным данным.

Раздел 3. Элементы и устройства систем управления

1. Основные сведения из метрологии

История развития методов и средств измерения. Датчики и чувствительные элементы. Основные параметры измерительных средств. Суммирование погрешностей.

2. Методы и приборы для измерения температуры

Классификация методов измерения температуры. Термопары. Термометры сопротивления. Преобразователи термопар и термометров сопротивления. Пирометры излучения.

Манометрические термометры.

3. Методы и приборы для измерения давления

Классификация приборов для контроля давления. Деформационные приборы для измерения давления. Промышленные приборы для контроля давления газа и жидкости. Электрические приборы контроля давления. Твердотельные сенсоры давления. Вакуумметры.

Метрология датчиков давления.

4. Методы и приборы для измерения уровня

Поплавковые уровнемеры. Буйковые уровнемеры. Гидростатические уровнемеры. Емкостные уровнемеры и сигнализаторы уровня. Акустические уровнемеры и сигнализаторы уровня. Волноводные уровнемеры. Радарные уровнемеры. Лазерные уровнемеры.

5. Методы и приборы для измерения расхода

Дроссельные расходомеры. Ротаметры. Электромагнитные расходомеры. Акустические расходомеры. Вихревые расходомеры. Кориолисовые расходомеры. Тепловые расходомеры. **6. Классификация и общие характеристики исполнительных элементов и устройств** Гидравлические, пневматические и электромеханические элементы и устройства.

7. Механика электропривода

Расчётные схемы механической части привода. Статические характеристики рабочих машин. Уравнения движения электропривода. Статическая устойчивость электропривода.

8. Статические характеристики электродвигателей и приводов

Относительные единицы. Характеристики двигателей и приводов постоянного тока. Характеристики двигателей и приводов переменного тока.

9. Динамические режимы в электроприводах

Динамические процессы при постоянной скорости холостого хода. Динамические процессы в асинхронном электроприводе. Динамические процессы в синхронном приводе. Формирование динамических процессов.

Потери мощности в приводах постоянного и переменного тока. Нагрев и охлаждение двигателя. Нагрузочные диаграммы электроприводов. Стандартные номинальные режимы работы двигателей. Расчёт мощности двигателя при различных режимах работы. Допустимая частота включений асинхронных короткозамкнутых двигателей.

10. Системы автоматического управления электроприводами

Разомкнутые системы автоматического управления. Замкнутые системы автоматического управления. Частотное управление асинхронными двигателями. Модульное управление. Векторное управление. Преобразователи частоты для асинхронного электропривода.

11. Элементы и устройства автоматических систем пожарной сигнализации

Извещатели пожарные. Оповещатели пожарные. Приемно-контрольные устройства. Датчики контроля загазованности.

12. Протоколы связи измерительных преобразователей

Протокол ModBus. Протокол Hart. Открытая промышленная система FieldBus.

ЛИТЕРАТУРА

К разделу 1

1. Теория автоматического управления: Учебник для вузов / С. Е. Душин, Н. С. Зотов, Д. Х. Имаев, Н. Н. Кузьмин, В. Б. Яковлев; Под ред. В. Б. Яковлева. М.: Высш. шк., 2003, 2005, 2009. 567 с.
2. Имаев Д. Х. Синтез систем управления в среде MATLAB: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2010.
3. Бесекерский В. А., Попов Е. П. Теория автоматического регулирования. СПб: Профессия, 2004.
4. Востриков А. С., Французова Г. А. Теория автоматического регулирования. М.: Высш. шк., 2006. 368 с.
5. Ким Д. П. Теория автоматического управления. Учебник в 2-х томах. М.: Физматлит, 2007.
6. Мирошник И. В. Теория автоматического управления. Линейные системы. СПб.: Питер, 2005.
7. Мирошник И. В. Теория автоматического управления. Нелинейные и оптимальные системы. СПб.: Питер, 2006. 272с.
8. Имаев Д. Х. Дискретные системы управления: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2005.
9. Ким Д. П. Сборник задач по теории автоматического управления. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008.
10. Певзнер Л. Д. Практикум по теории автоматического управления: учебное пособие для студентов ВУЗов. М.: Высш. шк. 2006. 590 с.

К разделу 2

1. Душин С. Е., Красов А. В., Кузьмин Н. Н. Моделирование систем управления: Учеб. пособие. М.: ТИД «Студент», 2012.
2. Душин С. Е., Красов А. В., Кузьмин Н. Н., Пошехонов Л. Б. Численное моделирование систем управления: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2003.
3. Душин С. Е., Красов А. В., Литвинов Ю.В. Моделирование систем и комплексов: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПбГУ ИТМО, 2010.

4. Зарубин В. С. Математическое моделирование в технике: Учебник для вузов / Под ред. В. С. Зарубина, А. П. Крищенко. М.: Изд-во МГТУ, 2003.
5. Рапорт Э. Я. Структурное моделирование объектов и систем управления с распределёнными параметрами: Учеб. пособие. М.: Высш. шк., 2003.
6. Введение в математическое моделирование: Учеб. пособие / Под ред. П. В. Трусова. М.: Логос, 2005.
7. Бордовский Г. А., Кондратьев А. С., Чоудери А. Д. Р. Физические основы математического моделирования: Учеб. пособие. М.: Изд. центр «Академия», 2005.
8. Маликов Р. Ф. Основы математического моделирования: Учеб. пособие для вузов. М.: Горячая линия – Телеком, 2010.

К разделу 3

1. Методы и средства измерений: учеб. пособие / Е. М. Антонюк, С. В. Виноградов, М. Т. Рзиева. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2017. - 48 с. + 1 эл. опт. диск (CD-ROM).
2. Электрический привод: учеб. для вузов по направлению 654500 "Электротехника, электромеханика и электротехнология" / Г. Б. Онищенко. М.: РАСХН, 2003. 312 с.
3. Автоматическое частотное управление асинхронными двигателями / А. С. Сандлер, Р. С. Сарбатов. М.: Энергия, 1974. 327 с.
4. Расходомеры и счетчики количества веществ: справ. / П.П.Кремлевский; Под общ. ред. и при участии Е.А.Шорникова. 5-е изд., перераб. и доп. СПб.: Политехника, 2002. Кн. 1: Расходомеры переменного перепада давления, расходомеры переменного уровня, тахометрические расходомеры и счетчики: справочное издание. 2002. 409 с.
5. Элементы и устройства автоматики / В.С. Подпиленский, Ю.А. Сабинин, Л.Ю. Юрчук; Под ред. Ю.А. Сабинина: Учебник для вузов. СПб: Политехника, 1995. 472 с.
6. Элементы и устройства систем управления (Часть 1. Измерительные элементы систем управления) / С.Е. Абрамкин. Учебное пособие. СПб: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2016. 147 с. [<https://lk.etu.ru/dashboard/api/download/1470>].
7. Датчики измерительных систем: в 2 кн.; Пер. с фр. / Ж.Аш, П.Андре, Ж.Бюфрон и др.; Под ред. А. С. Обухова. М.: Мир, 1992.
8. Сажин С.Г. Средства автоматического контроля технологических параметров: Учебник. СПб.: Изд-во «Лань», 2014. 368 с.

Руководитель магистерской программы по направлению «Управление в технических системах»

д. т. н. профессор

Душин С.Е.

1. При **традиционной форме** проведения вступительное испытание проводится в виде письменного экзамена. Каждый билет включает пятьдесят теоретических вопросов из различных разделов. Вопрос содержит несколько различных ответов, из которых требуется выбрать правильный. Степень сложности вопроса может быть различной. Ответ записывается на стандартном бланке. Все бланки ответов шифруются для обеспечения анонимности проверки. Время, отводимое на подготовку – 2 часа.

Вопросы экзаменационного билета могут иметь различную категорию сложности, устанавливаемую экзаменационной комиссией.

Каждый ответ на вопрос экзаменационного билета оценивается по бальной шкале:

- 2 балла – правильный ответ на любой вопрос, независимо от категории сложности;
- 1 балл – неполный (частично верный) ответ на вопрос из категории сложных; – 0 баллов – неправильный ответ.

Обнаружение у студентов несанкционированных экзаменационной комиссией учебных и методических материалов, любых средств передачи информации (электронных средств связи) является основанием для принятия решения о выставлении оценки «неудовлетворительно» по результатам вступительного экзамена («0» по 100-балльной шкале), вне зависимости от того, были ли использованы указанные материалы (средства) при подготовке ответа.

Общая оценка ответа на экзаменационный билет вычисляется как сумма набранных баллов по всем вопросам.

После завершения экзамена и получения информации об оценке возможна апелляция (подается в письменном виде с соответствующей аргументацией) с целью повышения итогового балла, которую рассматривает апелляционная комиссия.

2. В случае невозможности проведения вступительного испытания в традиционной форме, оно проводится в **дистанционной форме** в виде онлайн-теста. Каждое задание (билет) включает 50 вопросов и задач. На ответы и решения отводится не более 90 минут.

Вопросы и задачи в тесте имеют свою весовую оценку в зависимости от сложности. Максимально возможное число баллов – 100.

Тестовые вопросы и задачи составляются на основе программы приема в магистратуру, опубликованной на сайте СПбГЭТУ «ЛЭТИ».

Форма теста традиционная: вопросы формулируются с условием выбора одного (только одного!) правильного ответа из предложенных.

Информационная система подводит итоги выполнения задания автоматически.

Ответы экзаменуемых предоставляются в экзаменационную комиссию для анализа и окончательного подведения итогов.

После оглашения результатов экзамена допускается подача заявления на апелляцию с четким обоснованием в апелляционную комиссию.