

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Московский государственный технический
университет имени Н.Э. Баумана» (национальный исследовательский
университет)» (МГТУ им. Н.Э. Баумана)
Мытищинский филиал
Кафедра «Системы автоматического управления» (К-1)**

ПРОГРАММА

вступительного экзамена

в аспирантуру по научной специальности

2.3.1 «Системный анализ, управление и обработка информации»

Москва, 2022 г.

Содержание программы

Математическое описание и характеристики систем автоматического управления.

Объекты управления. Математическое описание объектов управления. Непрерывные управляемые процессы. Дискретные управляемые процессы. Типы объектов управления. Управляемые процессы, описываемые конечными, логическими уравнениями, обыкновенными дифференциальными уравнениями, дифференциальными уравнениями в частных производных, интегральными уравнениями, смешанными уравнениями. Одномерные и многомерные объекты управления. Линейные и нелинейные объекты управления, статические, динамические и статистические характеристики объектов автоматического управления.

Методы построения математических моделей управляемых процессов

Классификация методов получения математического описания объектов управления. Аналитические, экспериментальные (детерминированные, статистические) и комбинированные методы. Построение математических моделей управляемых процессов на основе использования уравнений: материального баланса, неразрывности потока, сохранения количества и момента количества движения, состояния вещества, движения идеальной жидкости, движения вязкой жидкости, фазового равновесия, скорости химических реакций, энергетического баланса, начала термодинамики, теплопроводности, электростатики, электродинамики и др.

Характеристики и структурные преобразования линейных одномерных и многомерных систем автоматического управления.

Дифференциальные уравнения, передаточные функции, временные и частотные характеристики линейных непрерывных стационарных и нестационарных звеньев систем автоматического управления. Связь между этими характеристиками и входными и выходными сигналами.

Структурные схемы линейных одномерных систем и методы их преобразования в непрерывных линейных стационарных и нестационарных системах.

Характеристики линейных многомерных непрерывных элементов и систем и их свойства. Векторно-матричные дифференциальные уравнения, переходные и импульсно-переходные матрицы многомерных линейных и нестационарных систем. Передаточные и параметрические передаточные матрицы многомерных систем. Связь между этими характеристиками и вектор функциями входов и выходов.

Матричные структурные схемы и правила их преобразования.

Передаточные функции и частотные характеристики дискретных систем, систем работающих на переменном токе.

Характеристики и структурные преобразования нелинейных систем автоматического управления.

Нелинейные системы и их математическое описание. Статические и динамические характеристики нелинейных САУ и их элементов. Исследование статики нелинейных САУ. Соединение и преобразование нелинейных звеньев. Преобразование нелинейных структурных схем.

Анализ устойчивости систем автоматического управления. Анализ устойчивости непрерывных линейных систем автоматического управления.

Постановка задачи об устойчивости систем автоматического управления. Устойчивость по Ляпунову. Устойчивость и асимптотическая устойчивость систем. Устойчивость в малом, в большом, в целом. Теоремы Ляпунова об устойчивости линеаризованных систем. Корневые, алгебраические и частотные критерии устойчивости и их применение к исследованию одномерных и многомерных непрерывных линейных САУ.

Анализ устойчивости линейных систем с запаздыванием и распределенными параметрами. Распространение частотных критериев устойчивости на иррациональные и трансцендентные системы.

Построение областей устойчивости линейных систем в пространстве параметров. Условия существования областей устойчивости, условия структурной устойчивости линейных систем.

Анализ устойчивости и определение областей устойчивости линейных систем с помощью вычислительных машин.

Устойчивость систем автоматического регулирования на несущей частоте.

Анализ устойчивости непрерывных нелинейных систем автоматического управления

Особенности процессов управления в нелинейных системах. Анализ устойчивости в малом нелинейных систем прямым методом Ляпунова. Теорема об устойчивости, асимптотической устойчивости и неустойчивости систем в прямом методе Ляпунова. Анализ устойчивости нелинейных САУ прямым методом Ляпунова. Методы построения функций Ляпунова. Метод фазового пространства в исследовании устойчивости нелинейных систем. Определение областей устойчивости систем в пространстве параметров и фазовом пространстве. Критерий Попова. Связь критерия Попова с методами Ляпунова. Метод гармонической линеаризации в исследовании устойчивости нелинейных систем. Зависимость устойчивости нелинейных систем от внешних воздействий.

Анализ устойчивости дискретных систем автоматического управления

Устойчивость релейных систем. Условия и критерии устойчивости в целом релейных систем. Частные случаи критериев устойчивости релейных систем, содержащих релейные элементы без гистерезиса.

Уравнения и характеристики импульсных САУ. Устойчивость импульсных систем. Корневые, алгебраические и частотные критерии устойчивости линейных импульсных систем.

Устойчивость нелинейных импульсных систем. Критерии абсолютной устойчивости нелинейных импульсных систем. Критерии абсолютной устойчивости процессов в нелинейных импульсных системах.

Анализ абсолютной устойчивости многомерных нелинейных импульсных систем. Дискретные аналоги теории Ляпунова об устойчивости, асимптотической устойчивости и неустойчивости. Исследование устойчивости систем с частотно- и широтно- импульсной модуляцией с помощью дискретного аналога прямого метода Ляпунова.

Анализ качества систем автоматического управления. Анализ качества линейных систем автоматического управления

Процессы в линейных непрерывных динамических системах. Преобразование регулярных сигналов линейными системами. Методы расчета преобразования сигналов линейными системами. Переходные процессы в линейных системах. Реакция линейной системы на типовые воздействия. Частотные и другие методы анализа переходных процессов в линейных системах.

Прямые и косвенные оценки качества процессов управления. Оценка качества при типовых и медленно меняющихся воздействиях. Частотные методы анализа качества. Связь между качеством переходного процесса и распределением нулей и полюсов передаточной функции, метод корневых годографов. Метод логарифмических корневых годографов. Интегральные оценки и критерии качества. Методы анализа качества и точности в линейных системах при случайных воздействиях.

Переходные процессы в дискретных САУ. Прохождение случайного сигнала через дискретную систему. Расчет динамической и флуктуационной ошибок дискретных систем. Косвенные оценки качества в дискретных системах.

Метод фазового пространства и точечных преобразований в исследовании динамики нелинейных САУ

Фазовое пространство и фазовые траектории динамической системы. Фазовый портрет системы, особые точки и особые траектории.

Исследование систем автоматического управления на фазовой плоскости, типы особых точек и особых траекторий, простые и сложные особые точки и траектории. Характеристический показатель в исследовании устойчивости предельных циклов. Методы построения фазовых портретов на плоскости. Грубые динамические системы. Зависимость качественной картины траекторий от параметров. Бифуркационные значения параметров системы.

Исследования САУ с типовыми нелинейностями по фазовой плоскости. Многолистные фазовые поверхности и их применение.

Применение метода фазового пространства к исследованию релейных систем и систем с переменной структурой. Скользящие режимы.

Исследование нелинейных САУ методом гармонической линеаризации

Особенности процессов управления в нелинейных системах. Математические основы и применение метода гармонической линеаризации для одночастотных симметрических колебаний. Обобщение этого метода на переходные колебательные процессы в нелинейных системах с быстрыми затуханиями. Развитие метода на нелинейные процессы управления. Применение метода к несимметричным колебаниям. Гармоническая линеаризация при многочастотных колебаниях. Исследование симметричных и несимметричных автоколебаний. Устойчивость периодических решений. Анализ систем с логическим управлением (конечные автоматы).

Метод гармонического баланса в исследовании систем с переменной структурой. Автоколебания в системах с несколькими нелинейностями.

Учет высших гармоник в методе гармонической линеаризации. Вынужденные колебания и процессы управления в нелинейных системах с вынужденными колебаниями. Исследование процессов управления в автоколебательных системах.

Синтез и оптимизация систем автоматического управления

Синтез линейных непрерывных САУ при детерминированных воздействиях. Синтез линейных непрерывных САУ при случайных воздействиях. Синтез нелинейных систем автоматического управления. Синтез оптимальных линейных дискретных и дискретно-непрерывных систем по критерию минимума среднеквадратичной ошибки с конечной и бесконечной памятью. Методы оптимизации. Принцип максимума. Метод динамического программирования. Аналитическое конструирование оптимальных регуляторов. Синтез адаптивных систем управления.

Системы цифрового управления

Математические модели цифрового управления. Математические модели цифровых систем с аналоговым объектом управления. Математические модели цифровых систем во временной и частотной областях. Анализ систем цифрового управления. Анализ устойчивости, управляемости и наблюдаемости. Анализ взаимосвязи характеристик непрерывной и дискретной систем. Анализ потерь информации при дискретизации. Синтез систем цифрового управления. Синтез систем с обратной связью по состоянию объекта с использованием наблюдателя. Фinitное управление. Синтез оптимальной системы. Цифровое перепроектирование (повторный синтез).

Системный анализ и принятие решений.

Системный анализ и принятие решений. Основные принципы системного анализа и теории принятия решений, оптимизационные методы получения детерминированных оценок (методы линейного программирования, квадратичного программирования, выпуклого программирования, теорема Куна-Таккера, динамическое программирование, принцип максимума, оптимизация в функциональных пространствах), многокритериальная оптимизация (принцип Парето, лексикографическая оптимизация),

вариационные методы получения детерминированных оценок, статистические методы получения оценок, структура и методы принятия решений с использованием различных оценок; метод системных матриц (пространство «варианты-условия»): минимаксный метод, метод Байеса-Лапласа, метод Гермейера, комбинированные методы; комбинаторные методы (метод преобразования графов), статистические методы принятия решений (методы проверки гипотез, методы минимизации дисперсии), оптимальность в конфликтных ситуациях, игровые динамические задачи, устойчивость точек равновесия.

Системное моделирование

Введение, примеры объектов, требующих системного подхода к моделированию: энергосистемы, гидравлические системы; связанные системы; постановка задач системного моделирования: система и ее части, декомпозиция, агрегирование, координация (прогнозирование, согласование, развязывание взаимодействий); модели подсистем (математические, физические и химические) классические методы анализа моделей подсистем; методы анализа процессов в подсистемах и системах, состоящих из многих подсистем; анализ стационарных состояний больших систем; методы анализа устойчивости больших систем; оценка качества больших систем; синтез больших систем; проблема сокращения размерности моделей больших систем (методы удаления переменных, методы теории жестких систем).

Перечень вопросов для подготовки к вступительному экзамену по специальности в аспирантуру

1. Основные понятия и определения теории автоматического управления и дать классификацию систем автоматического управления. Привести пример системы автоматического управления. Показать принципиальную, функциональную и структурную схемы этой системы.
2. Изложить расчет свободного движения САУ. Изложить расчет вынужденного движения САУ при гармоническом воздействии. Дать понятие о частотных функциях и частотных характеристиках системы.
3. Изложить расчет вынужденного движения САУ при периодическом воздействии и при воздействии, удовлетворяющем условию Дирихле и являющимся абсолютно интегрируемой функцией. Интеграл и преобразование Фурье. Изложить расчет вынужденного движения САУ с помощью преобразования Лапласа. Дать понятие о передаточной функции САУ. Показать связь между передаточной функцией и амплитудно-фазовой функцией.
4. Дать понятие о переходной и импульсной переходной функциях САУ. Показать связь между переходной и импульсной переходной функциями. Расчет вынужденного движения САУ при произвольном воздействии. Интеграл Дюамеля. Дать определение и изложить основные свойства передаточных функций линейных САУ. Передаточный коэффициент и его размерность.
5. Передаточные функции статических и астатических систем. Передаточные функции и временные характеристики типовых динамических звеньев.
6. Изложить расчет передаточных функций для группы элементов. Преобразование структурных схем. Частотные характеристики типовых звеньев.
7. Построение АФХ разомкнутых САУ. Построение ЛАХ и ЛФХ разомкнутых САУ.
8. Построение частотных характеристик замкнутой системы по частотным характеристикам разомкнутой. Анализ устойчивости по расположению корней характеристического полинома. Метод корневого годографа.
9. Изложить правила построения корневых годографов. Алгебраические критерии устойчивости. Дать анализ устойчивости с помощью критерия Рауса-Гурвица.

10. Вывести критерий устойчивости Михайлова. Вывести критерий устойчивости Найквиста-Михайлова.
11. Критерий устойчивости по числу пересечений АФХ участка вещественной оси. Критерий устойчивости по ЛАХ и ЛФХ.
12. Дать понятие запасов устойчивости по фазе и амплитуде. Анализ устойчивости систем с запаздыванием. Изложить Д-разбиение в плоскости одного параметра.
13. Изложить Д-разбиение в плоскости двух параметров. Анализ качества линейных САУ. Привести основные показатели качества при ступенчатом воздействии.
14. Анализ качества САУ при ступенчатом воздействии по ее частотным характеристикам. Изложить построение переходного процесса по вещественной частотной характеристике замкнутой системы.
15. Оценка показателей качества переходного процесса по вещественной частотной характеристике замкнутой системы. Изложить расчет линейных интегральных оценок качества САУ.
16. Изложить расчет квадратичных интегральных оценок. Анализ качества при гармоническом воздействии. Изложить анализ качества при медленно меняющихся воздействиях.
17. Расчет коэффициентов ошибок. Основные статистические характеристики случайных процессов. Прохождение случайного сигнала через динамическую систему.
18. Оценка динамической точности при действии на систему воздействия типа «q». Оценка динамической точности при действии на систему воздействия типа «n».
19. Оценка динамической точности при действии на систему воздействий типа «g» и типа «n», приложенных в одной точке. Оценка динамической точности при действии на систему воздействий типа «g» и типа «n», приложенных в разных точках.
20. Методы улучшения качества САУ за счет введения сигналов ошибки, производной ошибки, интеграла ошибки. Методы улучшения качества САУ за счет введения обратных связей.
21. Улучшение качества САУ за счет комбинированного управления.
22. Синтез линейных САУ оптимальных по быстродействию. Типовые желаемые ЛАХ САУ.
23. Расчет параметров желаемых ЛАХ, исходя из точности работы САУ. Определение коэффициентов добротности по ЛАХ.
24. Расчет параметров желаемых ЛАХ, исходя из быстродействия и качества переходного процесса САУ. Синтез САУ оптимальной по минимуму СКО (Задача Винера).
25. Синтез последовательных корректирующих устройств. Синтез параллельных корректирующих устройств.
26. Классификация дискретных САУ. Временные представления дискретных сигналов. Преобразование Лапласа дискретных функций.
27. Частотные спектры дискретных сигналов. Восстановление непрерывного сигнала из дискретного.
28. Z-преобразование дискретных сигналов и его свойства. Z-передаточные функции дискретных САУ.
29. Преобразование структурных схем дискретных САУ. Метод корневого годографа в дискретных САУ.
30. Алгебраический критерий устойчивости, использующий теорему Руше. Алгебраический критерий устойчивости, использующий билинейное преобразование.
31. Аналог критерия устойчивости Михайлова. Аналог критерия устойчивости Найквиста-Михайлова.

32. Построение годографа Михайлова дискретных САУ. Построение АФХ дискретных САУ.
33. Построение ЛАХ и ЛФХ дискретных САУ. Методы определения дискретных значений переходного процесса.
34. Определение значений переходного процесса в промежутках между тактами. Анализ цифровых САУ.
35. Синтез и коррекция цифровых САУ. Анализ устойчивости нелинейных САУ прямым методом Ляпунова.
36. Пример определения функции Ляпунова и оценка абсолютной устойчивости НСАУ. Критерий абсолютной устойчивости Попова В.М.
37. Метод гармонической линеаризации. Определение коэффициентов гармонической линеаризации. Расчет параметров автоколебаний в НСАУ и оценка их устойчивости по АФХ и обратной АХНЭ.
38. Расчет параметров автоколебаний в НСАУ и оценка их устойчивости по логарифмическим характеристикам. Расчет автоколебаний в НСАУ при наличии нескольких нелинейностей, разделенных линейными динамическими звеньями.
39. Основные типы фазовых траекторий на фазовой плоскости. Особые точки и особые траектории. Понятия о многолистной фазовой плоскости, линии переключения, скользящий режим.
40. Построение фазового портрета методом изоклин. Построение фазового портрета методом касательных.
41. Метод точных преобразований. Определение времени по фазовой траектории и построение переходного процесса.
42. Синтез системы оптимальной по быстродействию. Системы с переменной структурой
43. Синтез эталонных моделей адаптивных систем управления.
44. Синтез адаптивных систем управления методом функций Ляпунова.
45. Синтез алгоритмов адаптации методом скоростного градиента.

Рекомендуемая литература

1. Ким Д. П. Теория автоматического управления. Т.1. Линейные системы. М.: Физматлит, 2003.
2. Ротач В. Я. Теория автоматического управления. Учебник для студентов ВУЗов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007.
3. Теория автоматического управления. Учебник для студентов ВУЗов: под редакцией Яковлева В. Б. – М.: Высшая школа, 2005.
4. Пантелеев А. В., Бортакровский А. С. Теория управления в примерах и задачах. Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2003.
5. Методы классической и современной теории автоматического управления: под редакцией Пупкова К.А., Егупова Н. Д. Т.1 Математические модели, динамические характеристики и анализ систем автоматического управления. – М.: МГТУ, 2004.
6. Методы классической и современной теории автоматического управления: под редакцией Пупкова К.А., Егупова Н. Д. Т.2 Статистическая динамика и идентификация систем автоматического управления. – М.: МГТУ, 2004.
7. Методы классической и современной теории автоматического управления: под редакцией Пупкова К. А., Егупова Н. Д. Т.3 Синтез регуляторов систем автоматического управления. – М.: МГТУ, 2004.
8. Методы классической и современной теории автоматического управления: под редакцией Пупкова К. А., Егупова Н. Д. Т.4 Теория оптимизации систем

- автоматического управления. – М.: МГТУ, 2004.
9. Методы классической и современной теории автоматического управления: под редакцией Пупкова К. А., Егулова Н. Д. Т.5 Методы современной теории автоматического управления. – М.: МГТУ, 2004.
10. Ким Д. П. Теория автоматического управления. Т.2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. – М.: Физматлит, 2004.

Заведующий кафедрой

К-1 «Системы управления летательными аппаратами»



Беляев М.Ю.