

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

ПРОГРАММА

вступительного экзамена

в аспирантуру по научной специальности

**2.3.1 «Системный анализ, управление и обработка информации,
статистика»**

Москва, 2023 г.

Содержание программы

Основные понятия и определения теории управления

Теория управления, кибернетика, математические теория систем и теория управления. Понятие системы управления. Основные виды задач и систем управления. Функциональные и структурные схемы систем управления.

Основные принципы управления. Управления по ошибке и по возмущению, программное управление. Устойчивость и качество систем управления.

Математическое описание управляемых процессов и систем управления

Описание процессов и систем управления дифференциальными уравнениями. Системы с сосредоточенными и распределёнными параметрами. Дифференциальные уравнения систем управления в пространстве состояний. Динамические системы.

Понятия нелинейных и линейных систем. Линеаризации систем уравнений, условия корректной линеаризации. Основные формы уравнений линейных систем. Общий вид решения уравнений линейных систем.

Передаточные функции и частотные характеристики линейных систем управления. Связь между передачными функциями и дифференциальными уравнениями. Экспериментальное определение частотных характеристик. Логарифмические частотные характеристики.

Интегральные соотношения в системах управления. Импульсная переходная функция и переходная характеристика.

Виды математического описания дискретных и цифровых систем управления.

Математическое описание стохастических процессов и систем. Математическое описание дискретных стохастических процессов и систем.

Структурные схемы как способ математического описания управляемых процессов и систем управления.

Основные методы анализа и синтеза систем управления

Понятие устойчивости систем управления. Функции Ляпунова для анализа устойчивости. Анализ устойчивости путём линеаризации. Критерии устойчивости линеаризованных систем.

Понятие динамической системы. Свойства траекторий динамических систем. Особые точки и аттракторы. Бифуркации и грубость динамических систем и систем управления.

Понятия качества систем управления. Оценки точности систем управления. Временные показатели качества. Частотные показатели качества. Показатели точности. Интегральные показатели качества.

Линеаризация при анализе и синтезе систем управления. Гармоническая линеаризация. Статистическая линеаризация.

Использование передаточных функций и частотных характеристик для анализа систем управления. Типовые звенья систем управления. Структурные схемы и их преобразования.

Использование логарифмических частотных характеристик для анализа и синтеза систем управления. Метод синтеза В.В.Солодовникова.

Корневые методы анализа и синтеза систем управления.

Уравнения линейных динамических систем в пространстве состояний. Эквивалентные преобразования и канонические формы уравнений в пространстве состояний. Понятия и критерии управляемости и наблюдаемости.

Методы модального управления.

Оптимальные регуляторы линейных систем при квадратичных критериях качества.

Оценка состояния линейных динамических систем.

Оценка состояния линейных динамических систем при случайных воздействиях.

Оптимальные регуляторы линейных систем при квадратичных критериях качества и гауссовых случайных воздействиях типа «белый шум».

Автоколебания в системах управления. Определение параметров автоколебаний.

Методы оптимизации систем управления

Формулировка задачи оптимального управления: объекты управления; допустимые области изменения фазовых координат объекта и управляющих воздействий; критерии качества; краевые условия.

Детерминированные системы управления

Необходимые условия в задачах синтеза программных движений. Постановки задач. Применение вариационных методов в задачах оптимизации управления.

Достаточные условия в задачах оптимизации программных движений. Постановка задачи. Достаточные условия локального минимума при заданном времени окончания переходного процесса. Достаточные условия при незаданном времени на правом конце траектории. Особенности применения вариационного метода для решения задач управления.

Принцип максимума (минимума) Л.С.Понтрягина. Постановки задач. Применение принципа максимума для решения задач управления.

Метод динамического программирования. Постановка задачи. Условия оптимальности. Уравнение Гамильтона-Якоби-Беллмана. Применение динамического программирования для решения задач управления.

Оптимальное управление линейными объектами. Постановки задач: задача стабилизации; задача слежения; задача вывода и сопровождения по заданной траектории; задача с фиксированными значениями некоторых переменных состояния в заданный момент времени на правом конце траектории. Линейные динамические системы с квадратичным критерием качества. Задача оптимального управления при неполной информации о состоянии объекта, наблюдатель Люэнбергера.

Стохастические системы управления

Линейная оптимальная фильтрация и прогнозирование. Постановка задачи. Общее условие минимума среднеквадратической ошибки. Уравнение Винера-Хопфа.

Оптимальное оценивание переменных состояния систем управления. Фильтр Калмана-Бьюси. Обобщенный линейный фильтр. Фильтрация при «небелых» шумах. Стохастическая система с комбинированным критерием качества. Оптимальное сглаживание и интерполяция. Дискретный фильтр Калмана. Оптимальная нелинейная фильтрация.

Оптимальное управление многообъектными многокритериальными системами (ММС)

ММС как система с коалиционной структурой равнозначных подсистем или объектов и вектором требований. Понятие стабильности и эффективности управления ММС.

Постановка задачи оптимального управления ММС с учетом её математической модели, векторного целевого показателя, свойств коалиционной структуры и принципов взаимодействия подсистем или объектов. Понятие параметризованного программно-корректируемого закона управления (ПКЗУ) ММС. Двухэтапный метод формирования ПКЗУ на основе приближенного глобального анализа и локальной оптимизации.

Основные определения эффективного и стабильного управления и стабильно-эффективных компромиссов на основе скалярного и векторного равновесия по Нэшу, «угроз-контругроз» (УКУ), функции дележа по Шепли, многокритериальной оптимальности по Парето и конусу доминирования. Анализ основных методов стабильного, эффективного и компромиссного управления ММС.

Стабильное оптимальное управление ММС на основе трехэтапного алгоритма Парето-Нэш оптимизации. Алгоритмы получения стабильных управлений ММС на основе векторного равновесия по Нэшу. Стабильное оптимальное управление ММС на основе двухэтапного метода «угроз-контругроз».

Сравнительный анализ методов многокритериальной оптимизации. Понятие конуса доминирования. Необходимые условия Парето-оптимизация управления ММС, оптимизации по конусу доминирования и алгоритм получения эффективного управления по конусу доминирования. Скаляризация вектора показателей на основе узкого конуса доминирования. Метод лексикографической оптимизации управления ММС на основе ранжирования и уступок в показателях. Методы учета желаемых уровней показателей (пороговая оптимизация, оптимизация на основе принципа сложности, арбитражная схема Нэша). Метод Джоффриона с допустимыми взаимными изменениями показателей. Эффективные оптимальные управления ММС на основе функции дележа Шепли и среднеквадратической оптимизации по Салуквадзе.

Методы формирования стабильно-эффективных компромиссов (СТЭК) и СТЭК-оптимальных управлений ММС на основе Парето-Нэш-УКУ-Шепли комбинаций. Взаимосвязь с подходами на основе координированной оптимизации управления.

Нечеткое управление в системах с неполной информацией

Нечеткие множества. Принадлежность множеству. Свойства нечетких множеств. Принцип обобщения. Нечеткая арифметика. Прикладные задачи нечеткой логики. Формы представления нечетких множеств и их компьютерная реализация. Лингвистические модификации нечетких множеств. Нечеткая логика, нечеткие операции «И», «ИЛИ», «НЕ». Нечеткие выводы. Нечеткие предложения и нечеткая база правил. Нечеткая импликация. Композиция нечетких отношений. Агрегация локальных выводов и дефазификация.

Нечеткие контроллеры. Нечеткие системы управления. Гибридные системы регулирования. Нечеткая логика в задаче фильтрации случайных

возмущений. Нечеткая система автоматической оптимизации. Адаптивная система автоматической оптимизации с нечеткой последовательной процедурой проверки статистических гипотез.

Методы исследования операций

Предмет исследования операций (ИСО). Цели и этапы ИСО. ИСО и принятие решений. Типовые задачи ИСО. Постановка задач ИСО с учетом информационных условий. Детерминированные, стохастические задачи ИСО. Задачи ИСО в условиях неопределенности.

Задачи распределения ресурсов, размещения и назначения (выбора). Применение линейного и динамического программирования для решения задач распределения ресурсов.

Сетевые задачи выбора маршрута на графе. Задача коммивояжера и ее решение методов «ветвей и границ». Задачи выбора кратчайшего пути в незамкнутом графе.

Управление производством. Формализованное описание технологий. Проблемы управления производством. Планирование. Распределение заданий. Метод критического пути. Метод динамического программирования.

Моделирование операций на основе марковских процессов. Уравнения Чепмена-Колмогорова. Простейший поток событий. Потоки Пальма и Эрланга. Стационарные режимы. Метод динамики средних. Уравнение Ланчестера.

Моделирование операций на основе статистических испытаний. Сведение испытаний к стандартному механизму розыгрыша.

Имитационное моделирование. Модельное время. Квазипараллелизм в имитационном моделировании. Технологии моделирования сложных систем.

Модели и методы теории массового обслуживания. Классификация систем массового обслуживания (СМО). Марковские СМО с отказом, ожиданием и очередью. Замкнутые СМО. Исследование надежности с резервированием и восстановлением.

Методы ИСО в условиях неопределенности: поиск информации, статистические решения, управление ансамблем, принцип гарантированных и равновесных решений, нечеткие множества. Пять информационных ситуаций статистических решений. Планирование эксперимента на основе критерия Байеса. Метод районирования Динера. Гарантированные решения по критериям Вальда, Севиджа, Гурвица.

Матричная антагонистическая игра – простейшая модель операции в условиях неопределенности или антагонизма. Платежная матрица. Принцип минимакса. Седловая точка. Решение в чистых и смешанных стратегиях.

Теорема Неймана. Определение оптимальных решений сведением к задаче линейного программирования.

Основы системного анализа. Принятие решений и проектирование многоуровневых систем

Основные понятия системного анализа. Понятие системы и ее структуры. Задачи системного анализа. Системный анализ с позиции кибернетики, гомеостатики, синергетики, информатики. Многоуровневые многообъектные многокритериальные эргатические распределенные системы управления (МРСУ). Базовые информационно-управляющие даймонд-структуры МРСУ. Системный анализ при проектировании МРСУ. Уровень МРСУ как многообъектная многокритериальная система (ММС) из равнозначных объектов-подсистем.

Функциональные уровни МРСУ на основе регулирования, управления, координации и принятия решений. Понятие локальной и глобальной координации (стабильности уровня МРСУ). Методы локальной координации.

Требования к алгоритмам, системам и процессам проектирования из условий эффективности, стабильности, сложности, живучести, робастности, адаптивности. Роль уровня принятия решений МРСУ в интеллектуальных системах.

Методы и алгоритмы решения задачи выбора. Точные методы решения задачи выбора. Метод решения задачи назначения с матрицами особого рода. Приближенные методы решения задачи выбора.

Алгоритмы решения классической задачи выбора на расширенных множествах альтернатив.

Задачи принятия решений на расширенных множествах по векторному критерию. Основные понятия теории сложности. Векторная оптимизация решения на основе принципа сложности. Задачи принятия решений по векторному критерию на расширенных множествах альтернатив. Задача выбора с аддитивным и максиминным критериями. Многокритериальная задача выбора с аддитивными критериями.

Методологические основы принятия многокритериальных решений в МРСУ при слабой структуризации решения. Формирование, классификация, стратификация и ранжирование множества альтернатив. Методы теории полезности при сравнении альтернатив. Методы теории проспектов. Методы ELECTRE ранжирования многокритериальных альтернатив. Экспертный метод анализа иерархий Саати. Методы Подиновского.

Проектирование функциональных структур МРСУ. Формирование функциональных даймонд-структур (ДС) с учетом прототипа. Динамические расчеты на даймонд-структурах. Преобразование ДС МРСУ в граф структуры. Оптимизация на графе структур, выбор допустимых и Парето-оптимальных вариантов ДС. Минимизация сложности вычислительных процедур проектирования структур МРСУ.

Проектирование организационных структур МРСУ. Основные стадии этапа проектирования организационных структур МРСУ. Дополнительные функциональные задачи: уточнение характеристик операторов, лиц, принимающих решения (ЛПР) и специализированных систем отображения информации; обучение специалистов в группах поддержки; диагностика и контроль; задачи технологического управления; задачи поддержки ЛПР в системе управления; задачи экспертного оценивания неопределенных параметров.

Проектирование технических структур МРСУ. Задачи комплектования МРСУ техническими средствами по скалярному и векторному критерию. Формирование графа технических ДС МРСУ. Особенности выбора множества допустимых вариантов ДС при наличии промежуточных ограничений. Выбор единственного варианта технической структуры МРСУ по критерию, указанному руководителем проекта и на основе оценок свойства грубости структуры. Методика выбора вычислительных средств для МРСУ.

Статистика

Случайный эксперимент. Тест. Исход. Множество исходов. Случайное событие. Пространство элементарных событий. Несовместные, равновероятные и независимые события. Вероятность. Четыре определения вероятности. Условная вероятность. Формула Байеса. Полная вероятность.

Случайные переменные. Виды случайных переменных. Функции, используемые для описания случайных переменных. Функция вероятности и ее свойства. Функция распределения вероятности и ее свойства. Функция плотности распределения вероятности и ее свойства. Характеристики случайных переменных. Математическое ожидание и его свойства, медиана, мода, дисперсия и ее свойства. Робастность оценки среднего. Статистические моменты n -ого порядка. Неравенства Маркова и Чебышева.

Основные законы распределения дискретных случайных переменных (распределение Бернулли, биномиальное распределение, геометрическое распределение, распределение Пуассона). Основные законы распределения

непрерывных случайных переменных (нормальное распределение, равномерное распределение, экспоненциальное распределение, распределение Хи-квадрат).

Комбинация двух случайных переменных. Совместные и безусловные функции вероятности, функции распределения вероятности, функции плотности распределения вероятности. Корреляция, ковариация и линейный коэффициент корреляции двух случайных величин. Ортогональность, независимость и некоррелируемость двух случайных переменных.

Векторные случайные переменные. Поэлементные математическое ожидание и дисперсия. Корреляционная и ковариационная матрицы. Совместные и безусловные функции вероятности, функции распределения вероятности и функции плотности распределения вероятности.

Сумма случайных переменных. Математическое ожидание и дисперсия суммы случайных переменных. Последовательность случайных переменных. Векторный и скалярный случай последовательности случайных переменных. Понятие сходимости. Сходимость к константе, сходимость всюду, сходимость почти всюду, сходимость по вероятности (по мере), сходимость в распределении, среднеквадратичная сходимость.

Понятие статистической выборки. Полная и репрезентативная выборка. Выборочное среднее, дисперсия полной выборки и дисперсия репрезентативной выборки. Алгоритм расчета статистических характеристик в режиме реального времени. Законы больших чисел. Слабый и сильный законы больших чисел. Центральная предельная теорема.

Стохастический процесс. Реализация стохастического процесса. Совместная функция вероятности, совместная функция распределения вероятности и совместная функция плотности распределения вероятности для элементов стохастического процесса. Случайная переменная в составе стохастического процесса.

Математическое ожидание и дисперсия стохастического процесса. Автокорреляционная и автоковариационная функции. Взаимокорреляционная и взаимоковариационная функции, коэффициент корреляции двух стохастических процесса. Ортогональность, некоррелируемость и независимость двух стохастических процессов. Стохастические процессы с независимыми приращениями. Независимые и одинаково распределенные стохастические процессы. Стационарные, совместно стационарные и стационарные в широком смысле стохастические процессы. Свойства корреляционной функции стационарных в широком смысле стохастических процессов.

Стохастическое блуждание. Гауссовский стохастический процесс. Винеровский стохастический процесс. Пуассоновский стохастический процесс.

Сходства и различия винеровского и пуассоновского стохастических процессов. Производные стохастических процессов. Среднеквадратичная производная. Производная винеровского стохастического процесса.

Рекомендуемая литература

а) основная литература (учебники и учебные пособия):

1. Солодовников В.В., Плотников В.Н., Яковлев А.В. Теория автоматического управления техническими системами. М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1993. 493с.
2. Пупков К.А. и др. «Методы классической и современной теории автоматического управления» в 3-х томах, под общей редакцией профессора К.А. Пупкова, изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001.
3. Воронов Е.М. «Методы оптимизации управления многообъектными многокритериальными системами», изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. 576с.
4. Деменков Н.П., Микрин Е.А. Управление в технических системах: М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. – 452с.
5. Волков И.К., С.М. Зуев, Г.М. Цветкова. Случайные процессы. Учебник для вузов. И.: МГТУ имени Н.Э. Баумана, 1999, 448 с.
6. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. Учебное пособие для вузов. 9-е издание. И.: Высшая школа, 2003, 479 с.

б) дополнительная литература:

1. Пупков К.А. и др. «Методы робастного, нейронечеткого и адаптивного управления», под общ. редакцией профессора К.А. Пупкова, изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 744с.
2. Зубов Н.Е., Микрин Е.А., Рябченко В.Н. Матричные методы в теории и практике систем автоматического управления летательных аппаратов М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. – 666с.
3. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. Изд. 4-е, СПб.: Изд-во «Профессия», 2004. 752с.
4. Пупков К.А., Коньков В.Г. «Интеллектуальные системы», изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003, 348с.
5. Ларичев О.И. «Теория и методы принятия решений». М.: «Логос», 2002. 392с.
6. Андреев Ю.Н. Управление конечномерными линейными объектами. – «Наука», 1976.
7. Афанасьев В.Н., Колмановский В.Б., Носов В.Р. Математическая теория конструирования систем управления. – М.: «Высшая школа», 1989.
8. Бахвалов Т.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М. Численные методы. – М.: «Наука», 1987.
9. Болтянский В.Г. Оптимальное управление дискретными системами. – М.: «Наука», 1973.

10. Воронов А.А. Теория автоматического управления, ч. 1, П. – М.: «Высшая школа», 1986.
11. Зубов В.И. Лекции по теории управления. – М.: «Высшая школа», 1975.
12. Красовский Н.Н. Теория управления движением. – М.: «Наука», 1968.
13. Кротов В.Ф., Гурман В.И. Методы и проблемы оптимального управления. – М.: «Наука», 1973.
14. Моисеев Н.Н. Основы теории оптимальных систем. – М.: «Наука», 1975.
15. Петров Б.Н., Рутковский В.Ю., Земляков С.Д. Адаптивное координатно-параметрическое управление нестационарными объектами. – М.: «Наука», 1980.
16. Попов Е.П. Теория линейных систем автоматического регулирования. – М.: «Наука», 1989.
17. Фрадков А.Л. Адаптивное управление в сложных системах. – М.: «Наука», 1990.
18. Цыпкин Я.З. Информационная теория идентификации. – М.: «Наука», 1995.
19. Ядыкин И.Б., Шуйский В.М., Овсепян Ф.А. Адаптивное управление непрерывными технологическими процессами. – Энергоатомиздат, 1985.
20. Вентцель Е.С. Исследование операций. М.: Наука, 1988 — 208с.
21. Дегтярев Ю.И. Исследование операций. М.: Высшая школа, 1986. - 320с.
22. Моисеев Н.Н. Элементы теории оптимальных систем, М.: Наука, 1975.
23. Плотников В.Н., Зверев В.Ю. Принятие решений в системах управления. Часть 2. Теория и алгоритмы проектирования многообъектных распределенных систем управления. Изд. МГТУ, 1994. 144с.
24. Пупков К.А. и др. Теория и компьютерные методы исследования стохастических систем. М.: Физматлит, 2003. 400с.
25. Кузовков Н.Т. Модальное управление и наблюдающие устройства. М: Машиностроение, 1976. –184 с.
26. Справочник по теории автоматического управления/ Под. ред. А.А. Красовского. М.: Наука, 1987. 712с.
27. Семенов С.С., Воронов Е.М., Полтавский А.В., Крянев А.В. Методы принятия решений в задачах оценки качества и технического уровня сложных технических систем/ Под. ред. Е.Я. Рубиновича. М.: URSS-ЛЕНАНД, 2016. 520 с.

в) учебные пособия, находящиеся в библиотеке МГТУ:

1. Солодовников В.В., Плотников В.Н., Яковлев А.В. Теория автоматического управления техническими системами. М.: Изд. МГТУ им. Н.Э.Баумана, 1993. 493с.
2. Пупков К.А. и др. «Методы классической и современной теории автоматического управления» в 3-х томах, под общей редакцией профессора К.А.Пупкова, изд. МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2001.
3. Воронов Е.М. «Методы оптимизации управления многообъектными многокритериальными системами», изд. МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2001. 576с.
4. Деменков Н.П., Микрин Е.А. Управление в технических системах : М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. – 452с.
5. Пупков К.А. и др. «Методы робастного, нейронечеткого и адаптивного управления», под общ. редакцией профессора К.А.Пупкова, изд. МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2002. 744с.
6. Зубов Н.Е., Микрин Е.А., Рябченко В.Н. Матричные методы в теории и практике систем автоматического управления летательных аппаратов М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. – 666с.
7. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. Изд. 4-е, СПб.: Изд-во «Профессия», 2004. 752с.
8. Пупков К.А., Коньков В.Г. «Интеллектуальные системы», изд. МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2003, 348с.
9. Ларичев О.И. «Теория и методы принятия решений». М.: «Логос», 2002. 392с.
10. Андреев Ю.Н. Управление конечномерными линейными объектами. – «Наука», 1976.
11. Афанасьев В.Н., Колмановский В.Б., Носов В.Р. Математическая теория конструирования систем управления. – М.: «Высшая школа», 1989.
12. Бахвалов Т.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М. Численные методы. – М.: «Наука», 1987.
13. Болтянский В.Г. Оптимальное управление дискретными системами. – М.: «Наука», 1973.
14. Воронов А.А. Теория автоматического управления, ч. 1, П. – М.: «Высшая школа», 1986.
15. Зубов В.И. Лекции по теории управления. – М.: «Высшая школа», 1975.
16. Красовский Н.Н. Теория управления движением. – М.: «Наука», 1968.
17. Кротов В.Ф., Гурман В.И. Методы и проблемы оптимального управления. – М.: «Наука», 1973.

18. Моисеев Н.Н. Основы теории оптимальных систем. – М.: «Наука», 1975.
19. Петров Б.Н., Рутковский В.Ю., Земляков С.Д. Адаптивное координатно-параметрическое управление нестационарными объектами. – М.: «Наука», 1980.
20. Попов Е.П. Теория линейных систем автоматического регулирования. – М.: «Наука», 1989.
21. Фрадков А.Л. Адаптивное управление в сложных системах. – М.: «Наука», 1990.
22. Цыпкин Я.З. Информационная теория идентификации. – М.: «Наука», 1995.
23. Ядыкин И.Б., Шуйский В.М., Овсепян Ф.А. Адаптивное управление непрерывными технологическими процессами. – Энергоатомиздат, 1985.
24. Вентцель Е.С. Исследование операций. М.: Наука, 1988 — 208с.
25. Дегтярев Ю.И. Исследование операций. М.: Высшая школа, 1986. - 320с.
26. Моисеев Н.Н. Элементы теории оптимальных систем, М.: Наука, 1975.
27. Плотников В.Н., Зверев В.Ю. Принятие решений в системах управления. Часть 2. Теория и алгоритмы проектирования многообъектных распределенных систем управления. Изд. МГТУ, 1994. 144с.
28. Пупков К.А. и др. Теория и компьютерные методы исследования стохастических систем. М.: Физматлит, 2003. 400с.
29. Кузовков Н.Т. Модальное управление и наблюдающие устройства. М: Машиностроение, 1976. –184 с.
30. Справочник по теории автоматического управления/ Под. ред. А.А.Красовского. М.: Наука,1987. 712с.