



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт автоматики и процессов управления
Дальневосточного отделения Российской академии наук
(ИАПУ ДВО РАН)

«СОГЛАСОВАНО»

Зам. директора по научно-образовательной деятельности,
ученый секретарь, к.т.н.

 С.Б. Змеу

«29» декабря 2021 г.

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ИАПУ ДВО РАН
член-корреспондент РАН

 Р.В. Ромашко

«29» декабря 2021 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ (РПУД)

Роботы, мехатроника и робототехнические системы

**Группа научных специальностей 2.5. Машиностроение,
научная специальность 2.5.4. «Роботы, мехатроника и робототехнические системы»**

Форма подготовки (очная)

Междисциплинарная кафедра подготовки кадров высшей квалификации (МК ПКВК) ИАПУ ДВО РАН

курс 2 семестр 3,4

лекции 72 час. / 2 з.е.

практические занятия – 36 час. / 1 з.е.

лабораторные работы не предусмотрены

всего часов аудиторной нагрузки 108 (час.) / 3 з.е.

самостоятельная работа 74 (час.) / 2.06 з.е.

контрольные работы нет

курсовая работа / курсовой проект не предусмотрены.

зачет 3 семестр

экзамен 4 семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с федеральными государственными требованиями к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре, условиям их реализации и срокам освоения этих программ с учетом различных форм обучения, образовательных технологий и особенностей отдельных категорий обучающихся, утвержденными приказом Министерства науки и высшего образования РФ от 20 октября 2021 года № 951.

Рабочая программа обсуждена на заседании МК ПКВК ИАПУ ДВО РАН, протокол № 3 от «17» ноября 2021 г.

Заведующий кафедрой: д-р физ.- мат. наук, профессор Н.Г. Галкин

Составитель (ли): к.т.н. А.А. Кацурин.

Оборотная сторона титульного листа РПУД

I. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:

Протокол от « _____ » _____ 20__ г. № _____

Заведующий кафедрой _____
(подпись) (И.О. Фамилия)

II. Рабочая программа пересмотрена на заседании кафедры:

Протокол от « _____ » _____ 20__ г. № _____

Заведующий кафедрой _____
(подпись) (И.О. Фамилия)

АННОТАЦИЯ

Дисциплина «Роботы, мехатроника и робототехнические системы» предназначена для аспирантов, обучающихся по программе аспирантуры «Роботы, мехатроника и робототехнические системы» и входит в число дисциплин по вариативной части учебного плана.

При разработке рабочей программы учебной дисциплины использованы федеральные государственные требования к структуре программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре по группе научных специальностей 2.5. – «Машиностроение» и научной специальности 2.5.4. «Роботы, мехатроника и робототехнические системы» и учебный план подготовки аспирантов по научной специальности «Роботы, мехатроника и робототехнические системы».

Цель Основная цель изучения дисциплины – подготовка к сдаче кандидатского минимума по специальности «Роботы, мехатроника и робототехнические системы физике полупроводников».

Задачи:

1. Способствовать освоению аспирантами основных разделов курса «Роботы, мехатроника и робототехнические системы», необходимых для дальнейшей успешной научной деятельности.

2. Формирование знаний, соответствующих профилю подготовки по научной специальности «Роботы, мехатроника и робототехнические системы»

Требования к уровню усвоения содержания дисциплины

Аспиранты должны приобрести следующие знания и умения:

Знать

- методы и средства проектирования систем управления мехатронными и робототехническими объектами;

- современные методы системного анализа, методы проектирования и оптимизации технологических процессов в области машиностроения;
- современные методы описания технических объектов математическими моделями и программные средства для их исследования

Уметь:

- применять на практике знания о методах и средствах проектирования систем управления в области мехатроники и робототехники, формулировать выводы и практические рекомендации на основе проводимых исследований;
- анализировать, обобщать и прогнозировать основные параметры в области проектирования и оптимизации технологических процессов;
- описывать технологические процессы математическими моделями и применять программные средства для их исследования

Владеть:

- навыками проектирования систем управления мехатронными и робототехническими объектами;
- методиками и навыками обобщения новых решений в области системного анализа при проектировании и оптимизации технологических процессов;
- навыками построения математических моделей и применения программных средств в области мехатроники и робототехники

I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

МОДУЛЬ 1. КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОВ (18 час.)

Раздел I. Классификация, области применения и развитие систем управления роботом. Эффекты взаимовлияний между степенями подвижности манипуляторов. (18 час.)

Тема 1. Особенности синтеза манипуляционных систем. Обобщенный анализ адаптивных систем управления. Концепция синтеза систем управления манипуляторами и основных ее направлений. Эффекты взаимовлияний между степенями подвижности манипулятора. Механическая разгрузка его движений. Передаточная функция электропривода степени подвижности многозвенного манипулятора. Дифференциальное уравнение нагруженного электропривода. (18 час.).

Задачи, стоящие перед дисциплиной, ее структура и основные рассматриваемые вопросы. Роль высококачественных систем управления в робототехнике. Рассматриваются основные особенности синтеза высококачественных систем управления современными робототехническими системами. Обобщенный анализ адаптивных систем управления. Оптимальные самонастраивающиеся системы с подстройкой параметров регуляторов или управляющих воздействий. Системы с внешним контуром оптимизации и внутренним контуром стабилизации. Системы со стабилизацией динамических свойств относительно модели. Системы управления манипуляторами.

Осуществляется формирование концепции синтеза систем управления манипуляторами и основных ее направлений. Рассматриваются основные особенности концепции динамической развязки движения многозвенных роботов. Рассматриваются основные особенности концепции адаптивного программного управления многозвенными роботами.

Приводится описание, физический смысл эффектов взаимовлияний между степенями подвижности многозвенных манипуляторов.

Рассматривается вывод аналитических выражений, описывающих эффекты взаимовлияний для многозвенных манипуляторов. Практическое получение уравнений, описывающие моментных воздействия, действующие в степенях подвижности двухстепенного манипулятора. Механическая компенсация эффектов взаимовлияния.

Уравнение динамики многозвенного манипуляционного робота. Декомпозиция уравнений динамики манипулятора. Эффекты взаимовлияний между степенями подвижности манипулятора. Математическая модель исполнительской системы. Вывод передаточной функции электропривода одной степени подвижности многозвенного манипулятора. Вывод дифференциального уравнения нагруженного электропривода. Расчет исполнительских приводов роботов. Синтез корректирующих устройств и регуляторов. Структурная схема следящего привода.

МОДУЛЬ 2. СИНТЕЗ САМОНАСТРАИВАЮЩИХСЯ И ОПТИМАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРАМИ (18 час.)

Раздел I. Самонастраивающиеся системы управления. (9 час.)

Тема 1. Корректирующие устройства, стабилизирующие параметры передаточных функций электроприводов роботов. Самонастраивающаяся коррекция, стабилизирующая коэффициенты дифференциальных уравнений электроприводов роботов. Синтез самонастраивающихся приводов, инвариантных к сложному взаимовлиянию между степенями подвижности манипулятора. Самонастраивающаяся коррекция для гидроприводов манипуляторов. (9 час.)

Корректирующие устройства, стабилизирующие параметры передаточных функций электроприводов роботов. Обсуждение принципов

стабилизации параметров передаточной функции. Разработка самонастраивающихся корректирующих устройств для двигателей постоянного тока независимого возбуждения или с постоянными магнитами. Разработка самонастраивающихся корректирующих устройств для бесконтактных двигателей постоянного тока. Исследование самонастраивающихся приводов в типовых режимах работы. Синтез и исследование электроприводов манипуляторов, инвариантных к моменту вязкого трения.

Приводится вывод дифференциального уравнения, описывающего динамику электропривода многозвенного манипулятора. Самонастраивающаяся коррекция, стабилизирующая коэффициенты дифференциальных уравнений электроприводов роботов. Синтез самонастраивающейся коррекции для двигателей постоянного тока с независимым возбуждением.

Рассматриваются особенности синтеза и практической реализации самонастраивающейся коррекции, стабилизирующей параметры передаточных функций в случае полного описания эффектов взаимовлияний. Рассматриваются особенности синтеза и практической реализации самонастраивающейся коррекции, стабилизирующей параметры дифференциальных уравнений в случае полного описания эффектов взаимовлияний.

Приводятся примеры робототехнических систем с гидроприводами. Выводятся уравнения, описывающие динамику гидропривода. Рассматриваются особенности синтеза и практической реализации самонастраивающейся коррекции для гидроприводов.

Раздел II. Синтез оптимальных регуляторов. (9 час.)

Тема 1. Аналитическое конструирование оптимальных регуляторов для следящих приводов. Синтез регуляторов для самонастраивающихся приводов по квадратичному критерию. Формирование структуры оптимального регулятора. (9 час.).

Приводится описание метода аналитического конструирования оптимальных регуляторов. Синтез регуляторов для самонастраивающихся приводов по квадратичному критерию. Формирование структуры оптимального регулятора. Анализ самонастраивающихся оптимальных систем.

Составление уравнений динамики электроприводов при стабилизации параметров передаточной функций. Описание динамики электроприводов при стабилизации параметров дифференциальных уравнений. Синтез регуляторов для самонастраивающихся приводов по квадратичному критерию качества. Аналитическое конструирование оптимальных регуляторов для следящих приводов.

Рассматриваются особенности синтеза самонастраивающихся нелинейных систем управления приводами манипуляторов произвольной конфигурации на основе квадратичного критерия качества. Синтез структуры и формирование расчетных соотношений для определения параметров оптимального регулятора. Особенности построения и реализации самонастраивающихся регуляторов. Расчет квазиоптимальных регуляторов для электроприводов манипуляторов. Анализ эффективности синтезированных квазиоптимальных приводов манипуляторов.

МОДУЛЬ 3. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОВ. (36 час.)

Раздел I. Самонастраивающиеся системы с переменной структурой для электроприводов манипуляторов. (18 час.)

Тема 1. Системы с переменной структурой для терминального управления при дискретном изменении параметров нагрузки. Синтез систем с переменной структурой второго порядка при наличии моментов трения и внешних моментов. Синтез систем с переменной структурой третьего порядка с использованием воздействия по ошибке. Системы с переменной структурой при непрерывно изменяющихся параметрах нагрузки. (18 час.).

Особенности синтеза систем с переменной структурой для терминального управления при дискретном изменении параметров нагрузки. Синтез упрощенных самонастраивающихся систем с переменной структурой второго порядка. Системы с переменной структурой для вынужденных движений с дискретным изменением параметров нагрузки.

Особенности синтеза систем с переменной структурой второго порядка при наличии моментов трения и внешних моментов. Рассматривается вынужденное движение самонастраивающейся системы с переменной структурой второго порядка.

Синтез систем с переменной структурой третьего порядка с использованием воздействия по ошибке. Синтез самонастраивающихся систем с переменной структурой с использованием воздействия по ошибке и ее производной. Вынужденное движение самонастраивающейся системы с переменной структурой третьего порядка. Рассматриваются особенности синтеза систем с переменной структурой при непрерывно изменяющихся параметрах нагрузки.

Раздел II. Интеллектуальные системы управления роботом. (18 час.)

Тема 1. Алгоритмы адаптивной коррекции и автоматической генерации программ движения осязательных роботов. Методы и процедуры автоматизированного формирования действий автономных

роботов в сложных средах с препятствиями. Метод синтеза системы автоматического управления режимом движения схвата манипулятора по сложным пространственным траекториям. Адаптивная система формирования предельно высокой скорости движения схвата многостепенного манипулятора по произвольной траектории. Позиционно-силовое управления многозвенными манипуляторами. (18 час.).

Описывается концепция интеллектуальных информационно-управляющих систем роботов. Алгоритмы адаптивной коррекции и автоматической генерации программ движения осязательных роботов. Алгоритмы адаптивной коррекции управляющей программы по сенсорным измерениям. Задачи программирования движений рабочего инструмента робота вдоль требуемых траекторий. Автоматизация программирования осязательных роботов на базе активно формируемых геометрических моделей.

Рассматривается проблема прокладки траекторий движения роботов в априорно незнакомой среде. Методы обхода препятствий роботами на базе локальной сенсорной информации. Методы и процедуры автоматизированного формирования действий автономных роботов в сложных средах с препятствиями. Методы планирования движений роботов с активным накоплением информации в различных моделях среды.

Метод синтеза системы автоматического управления режимом движения схвата манипулятора по сложным пространственным траекториям. Описание движения многозвенного манипулятора и постановка задачи. Описание системы формирования программных сигналов управления манипулятором. Описание неизменяемой части системы. Получение модели объекта управления для синтеза регулятора. Исследование системы формирования

максимально возможной программной скорости движения схвата манипулятора по заданной пространственной траектории.

Синтез адаптивных систем управления, настраивающихся по амплитудным частотным характеристикам объектов с переменными параметрами. Исследование особенностей работы исполнительных устройств при изменении режимов движения и уменьшении параметров нагрузки. Формирование рабочей частоты входного сигнала на основе кусочно-линейной аппроксимации амплитудно-частотной характеристики. Адаптивная система формирования предельно высокой скорости движения схвата многостепенного манипулятора по произвольной траектории. Описание адаптивной системы формирования предельно возможной скорости движения рабочего инструмента многостепенного манипулятора.

Анализ подходов и методов синтеза позиционно-силовых систем управления манипуляторами и постановка задачи. Особенности синтеза комбинированных позиционно-силовых систем управления многозвенными манипуляторами. Синтез и исследование одновременного управления отдельными электроприводами многозвенного манипулятора по положению и развиваемому моменту. Синтез комбинированной позиционно-силовой системы управления многозвенными манипуляторами.

II. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

Практические занятия (36 час.)

Занятие 1. Синтез систем управления роботами и манипуляторами. (4 час.)

1. Особенности синтеза манипуляционных систем.
2. Обобщенный анализ адаптивных систем управления.
3. Концепция синтеза систем управления манипуляторами.

4. Эффекты взаимовлияний между степенями подвижности манипулятора.

5. Механическая разгрузка его движений.

Занятие 2. Передаточные функции и дифференциальные уравнения электропривода (4 час.)

1. Вывод передаточной функции электропривода.

2. Вывод дифференциального уравнения нагруженного электропривода.

Занятие 3. Синтез корректирующих устройств (4 час.)

1. Особенности синтеза корректирующих устройств, стабилизирующих параметры передаточных функций электроприводов роботов.

2. Особенности синтеза самонастраивающаяся коррекция, стабилизирующая коэффициенты дифференциальных уравнений электроприводов роботов.

Занятие 4. Синтез самонастраивающихся регуляторов (8 час.)

1. Особенности синтеза самонастраивающихся приводов, инвариантных к сложному взаимовлиянию.

2. Использование метода аналитического конструирования оптимальных регуляторов для следящих приводов.

3. Особенности синтеза регуляторов для самонастраивающихся приводов по квадратичному критерию.

Занятие 5. Синтез систем с переменной структурой (4 час.)

1. Особенности синтеза системы с переменной структурой для терминального управления электроприводом робота.

2. Особенности синтеза систем с переменной структурой второго порядка для управления приводом робота.

3. Особенности синтеза систем с переменной структурой третьего порядка.

4. Особенности синтеза систем с переменной структурой для управления приводом робота при непрерывно изменяющихся параметрах нагрузки.

Занятие 6. Синтез адаптивных систем (8 час.)

1. Обзор существующих алгоритмов адаптивной коррекции управляющих программ движения роботов.

2. Особенности синтеза адаптивной системы формирования предельно высокой скорости движения схвата многостепенного манипулятора.

3. Особенности синтеза позиционно-силовых систем управления многозвенными манипуляторами.

Занятие 7. Движение роботов в автоматическом режиме (8 час.)

1. Описание процедуры автоматизированного формирования действий автономных роботов в сложных средах с препятствиями.

2. Особенности синтеза системы автоматического управления режимом движения схвата манипулятора.

3. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА АСПИРАНТОВ (74 ЧАСА)

Рекомендации по самостоятельной работе

Самостоятельная работа студентов представлена в виде:

- подготовка к выполнению практических заданий и оформление отчета;
- ответы на вопросы для проверки усвоения материала;
- подготовки к экзамену.

Критерии оценки выполнения самостоятельной работы

1. 10-9 баллов выставляется студенту, если студент выполнил все пункты задания. Фактических ошибок, связанных с пониманием проблемы, нет; графически работа оформлена правильно. При защите студент отвечает на все вопросы преподавателя.

2. 8-7 баллов: работа выполнена полностью; допущено одна-две ошибки в оформлении работы. При защите студент отвечает на все вопросы преподавателя.

3. 7-6 балл: работа выполнена полностью; допущено не более 2 ошибок при оформлении работы. При защите студент не отвечает на 1-2 вопроса преподавателя.

4. 6-5 баллов: работа выполнена; допущено три или более трех ошибок в оформлении работы. При защите студент не отвечает на 2-3 вопроса преподавателя.

Задание (я):

- Синтез систем управления роботами и манипуляторами
- Передаточные функции и дифференциальные уравнения электропривода
- Синтез корректирующих устройств
- Синтез самонастраивающихся регуляторов
- Синтез систем с переменной структурой
- Синтез адаптивных систем
- Движение роботов в автоматическом режиме

4. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

Вопросы к зачету (1-5) и экзамену (6-20):

1. Особенности синтеза манипуляционных систем. Обобщенный анализ адаптивных систем управления.

2. Концепция синтеза систем управления манипуляторами и основных ее направлений.

3. Эффекты взаимовлияний между степенями подвижности манипулятора. Механическая разгрузка его движений.

4. Передаточная функция электропривода степени подвижности многозвенного манипулятора. Дифференциальное уравнение нагруженного электропривода.

5. Корректирующие устройства, стабилизирующие параметры передаточных функций электроприводов роботов.

6. Самонастраивающаяся коррекция, стабилизирующая коэффициенты дифференциальных уравнений электроприводов роботов.

7. Синтез самонастраивающихся приводов, инвариантных к сложному взаимовлиянию между степенями подвижности манипулятора.

8. Самонастраивающаяся коррекция для гидроприводов манипуляторов.

9. Аналитическое конструирование оптимальных регуляторов для следящих приводов.

10. Синтез регуляторов для самонастраивающихся приводов по квадратичному критерию.

11. Формирование структуры оптимального регулятора.

12. Системы с переменной структурой для терминального управления электроприводом робота при дискретном изменении параметров нагрузки.

13. Синтез систем с переменной структурой второго порядка для управления приводом робота при наличии моментов трения и внешних моментов.

14. Синтез систем с переменной структурой третьего порядка с использованием воздействия по ошибке для управления приводом робота.

15. Системы с переменной структурой для управления приводом робота при непрерывно изменяющихся параметрах нагрузки.

16. Алгоритмы адаптивной коррекции и автоматической генерации программ движения осязательных роботов.

17. Методы и процедуры автоматизированного формирования действий автономных роботов в сложных средах с препятствиями.

18. Метод синтеза системы автоматического управления режимом движения схвата манипулятора по сложным пространственным траекториям.

19. Адаптивная система формирования предельно высокой скорости движения схвата многостепенного манипулятора по произвольной траектории.

20. Позиционно-силовое управление многозвенными манипуляторами.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература

(печатные и электронные издания)

1. Нейросетевая идентификация и управление некоторыми механизмами параллельной кинематики /В. М. Буянкин, С. М. Гоменюк, А. П. Карпенко [и др.], М.: Новые технологии , 2011, 32 с.

2. Юревич Е.И. Основы робототехники: учебное пособие для вузов. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2010. -359 с.

3. Коновалов Б.И., Лебедев Ю. М. Теория автоматического управления. СПб.: Издательство «Лань», 2010. – 224 с.<http://e.lanbook.com/view/book/538/page1/>

4. Певзлер Л.Д. Теория систем управления. СПб.: Издательство «Лань», 2013. – 424 с.<http://e.lanbook.com/view/book/38841/page2/>

5. Предко М. Устройства управления роботами. – М. ДМК Пресс, 2010. – 404 с.<http://e.lanbook.com/view/book/40006/>

6. Управление техническими системами. Е.Б. Бунько, К.И. Меша, Е.Г. Мурачев и др.; Под ред. В.И. Харитонова. - М.: Форум, 2010. - 384 с.<http://znanium.com/bookread.php?book=188363>

7. Современная автоматика в системах управления технологическими процессами: Учебное пособие / В.П. Ившин, М.Ю. Перухин. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 400 с.<http://znanium.com/bookread.php?book=430323>

Дополнительная литература (печатные и электронные издания)

1. Системы управления : Исследование и компьютерное проектирование /А. Г. Варжапетян, В. В. Глущенко, М. : Вузовская книга, 2005, 326 с. (1 экз.)

2. Моделирование процессов и систем в MATLAB : учебный курс /Юрий Лазарев. Санкт-Петербург : Питер, 2005, 512 с. (1 экз.)

3. Основы теории нечетких и гибридных систем : учебное пособие для вузов /Н. Г. Ярушкина, Москва : Финансы и статистика , 2004. (запрос)

4. Конюх В.Л. Основы робототехники : учебное пособие. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2008. -282 с. (18 экз.)

5. Афанасьев В.Н. Управление неопределенными динамическими объектами. – М.: Физматлит, 2008. - 208 с. (1 экз.)

6. Баландин Д.В., Коган М.М. Синтез законов управления на основе линейных матричных неравенств : учебное пособие для вузов. – М.: Физматлит, 2007. - 280 с. (3 экз.)

7. Гориневский Д.М., Формальский А.М., Шнейдер А.Ю.. Управление манипуляционными системами на основе информации об усилиях. – М.: Наука. – 1994. – 350 с.

8. Филаретов В.Ф. Самонастраивающиеся системы управления приводами манипуляторов. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2000. – 304 с.

9. Юревич Е. И. Основы робототехники. – Пб.: БХВ-Петербург, 2005. –416 с.
10. Черноусько Ф.Л., Ананьевский И.М., Решмин С.А. Методы управления нелинейными механическими системами. М.: Физматлит, 2006. – 328 с.
11. Зенкевич С.Л., Ющенко А.С. Основы управления манипуляционными роботами. – М.: Издательство МГТУ им. Баумана, 2004. – 478 с.
12. Иванов В.А., Фалдин Н.В. Теория оптимальных систем автоматического управления. – М.: Наука, 1981. – 336 с.
13. Каляев И.А., Гайдук А.Р., Капустян С.Г. Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов. – М.: Физматлит, 2009. - 279 с.
14. Громов Ю.Ю., Земской Н.А., Лагутин А.В., Иванова О.Г., Тютюнник В.М. Специальные разделы теории управления. Оптимальное управление динамическими системами: Учебное пособие. - Тамбов: Издательство ТГТУ, 2007.<http://window.edu.ru/resource/880/56880>
15. Григорьев В.В., Журавлева Н.В., Лукьянова Г.В., Сергеев К.А. Синтез систем автоматического управления методом модального управления: Учебное пособие. - СПб: СПбГУ ИТМО, 2007. - 143 с.<http://window.edu.ru/resource/420/54420>
16. Заболотнов Ю.М. Оптимальное управление непрерывными динамическими системами: Учебное пособие. - Самара: Самар. гос. аэрокосмический ун-т, 2005. - 129 с.<http://window.edu.ru/resource/944/46944>
17. Гришанов Г.М., Павлов О.В. Исследование систем управления: Учебное пособие. - Самара: СГАУ, 2005. - 128 с. <http://window.edu.ru/resource/707/47707>

18. Поляков К.Ю. Основы теории цифровых систем управления: Учебное пособие. - СПб.: СПбГМТУ, 2006. - 161 с.<http://window.edu.ru/resource/527/58527>
19. Букреев В.Г. Математическое обеспечение адаптивных систем управления электромеханическими объектами: Учебное пособие. - Томск: Изд-во ТПУ, 2002. - 132 с.<http://window.edu.ru/resource/943/73943>
20. Андриевский Б.Р., Фрадков А.Л. Избранные главы теории автоматического управления с примерами на языке MATLAB. - СПб.: Наука, 1999. - 475 с.<http://window.edu.ru/resource/205/41205>
21. Заболотнов Ю.М. Оптимальное управление непрерывными динамическими системами: Учебное пособие. - Самара: Самар. гос. аэрокосмический ун-т, 2005. - 129 с.<http://window.edu.ru/resource/944/46944>
22. Юревич Е.И. Основы проектирования техники: Учебное пособие. - СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2012. - 134 с. <http://window.edu.ru/resource/926/69926>
23. Григорьев В.В., Быстров С.В., Бойков В.В., Болтунов Г.И., Мансурова О.К. Цифровые системы управления: Учебное пособие. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2011. – 133 с.<http://window.edu.ru/resource/439/73439>
24. Тертычный-Даури В.Ю. Динамика робототехнических систем: Учебное пособие. - СПб.: НИУ ИТМО, 2012. - 128 с.<http://window.edu.ru/resource/684/78684>