



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

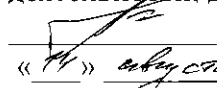
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

«Институт автоматизации и процессов управления

Дальневосточного отделения Российской академии наук»  
(ИАПУ ДВО РАН)

«СОГЛАСОВАНО»

Зам. директора по научно-  
образовательной и инновационной  
деятельности, д.ф.-м.н.

 Н.Г. Галкин  
«14» августа 2014 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ (РПУД)  
«РОБОТЫ И ИХ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ»**

Направление подготовки – 15.06.01 Машиностроение,

профиль «Роботы, мехатроника и робототехнические системы»

Образовательная программа «Роботы, мехатроника и робототехнические системы»

Форма подготовки (очная)

Междисциплинарная кафедра подготовки кадров высшей квалификации (МК ПКВК)

курс 2 семестр 4  
лекции 18 час.  
практические занятия 18 час.  
всего часов аудиторной нагрузки 36 час.  
самостоятельная работа 72 час.  
экзамен 4 семестр

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации), утвержденного приказом министерства образования и науки РФ от 30 июля 2014г № 881

Рабочая программа обсуждена на заседании МК ПКВК, протокол № 1 от «14» августа 2014 г.

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

Составитель (ли): к.т.н. А.В. Зуев

**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 и их системы управления является базовой для аспирантов, обучающихся по образовательной программе «Роботы, мехатроника и робототехнические системы», и входит в вариативную часть учебного плана.

При разработке рабочей программы учебной дисциплины использованы Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования (уровень подготовки кадров высшей квалификации) по направлению подготовки 15.06.01 Машиностроение, учебный план подготовки аспирантов по профилю «Роботы, мехатроника и робототехнические системы».

**Целью** изучения дисциплины является выработка у аспирантов навыков использования современных подходов к синтезу высококачественных и интеллектуальных систем управления (СУ) роботами различного вида и назначения..

### **Задачи:**

1. Научить аспирантов правильно использовать основные термины и понятия в области СУ роботов.
2. Формирование навыков получения математических моделей различных робототехнических систем (РС).
3. Формирование практических навыков анализа сложных РС.
4. Ознакомление с современными подходами к синтезу СУ РС различного вида и назначения.

**Интерактивные формы обучения** составляют 14 часов и включают в себя по лекциям: метод - Обратная связь, метод - Лекция с заранее объявленными ошибками, по практическим занятиям: Кейс-метод.

**Компетенции выпускника, формируемые в результате изучения дисциплины**

Универсальные компетенции:

УК-5 Способность следовать этическим нормам в профессиональной деятельности

УК-6 способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития

Профессиональные компетенции:

ПК - 1 Способностью системного анализа при проектировании и оптимизации технологических процессов

ПК - 2 способность к построению или синтезу математических моделей мехатронных и робототехнических систем

ПК - 3 способность к построению систем управления мехатронными и робототехническими объектами.

### **Требования к уровню усвоения содержания дисциплины.**

Аспиранты должны приобрести следующие знания и умения:

знать:

социальные стратегии, учитывающие общепринятые этические нормативы, их особенности и способы реализации при решении профессиональных задач,

содержание процесса целеполагания профессионального и личностного развития, его особенности и способы реализации при решении профессиональных задач, исходя из этапов карьерного роста и требований рынка труда,

уметь:

налаживать профессиональные контакты на основе этических норм и ценностей с целью достижения взаимопонимания на основе толерантности

осуществлять личностный выбор в различных профессиональных и морально-ценностных ситуациях, оценивать последствия принятого решения и нести за него ответственность перед собой и обществом,

владеть способами выявления и оценки этических, профессионально значимых качеств и путями достижения более высокого уровня их развития,

формулировать цели личностного и профессионального развития и условия их достижения, исходя из тенденций развития области профессиональной деятельности, этапов профессионального роста, индивидуально-личностных особенностей,

осуществлять личностный выбор в различных профессиональных и морально-ценностных ситуациях, оценивать последствия принятого решения и нести за него ответственность перед собой и обществом,

владеть способами выявления и оценки индивидуально-личностных, профессионально-значимых качеств и путями достижения более высокого уровня их развития.

## **I. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА**

### **МОДУЛЬ 1. КЛАССИФИКАЦИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОВ (2 час.)**

**Раздел I. Классификация, области применения и развитие систем управления роботом. Эффекты взаимовлияний между степенями подвижности манипуляторов. (2 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. (2 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 исполнительной системы. Вывод передаточной функции электропривода одной степени подвижности многозвенного манипулятора. Вывод дифференциального уравнения нагруженного электропривода. Расчет исполнительных приводов роботов. Синтез корректирующих устройств и регуляторов. Структурная схема следящего привода.

## **МОДУЛЬ 2. СИНТЕЗ САМОНАСТРАИВАЮЩИХСЯ И ОПТИМАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРАМИ (4 час.)**

### **Раздел I. Самонастраивающиеся системы управления. (2час.)**

**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. (2 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. (2 час.)**

**Тема 1. Аналитическое конструирование оптимальных регуляторов для следящих приводов. Синтез регуляторов для самонастраивающихся приводов по квадратичному критерию. Формирование структуры оптимального регулятора. (2 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. (2 час.)**

**Раздел I. Самонастраивающиеся системы с переменной структурой для электроприводов манипуляторов. (1 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. (1 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. (1 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 управление многосуставными манипуляторами. (1 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 (18 час.)**

**Занятие 1. Синтез систем управления роботами и манипуляторами.  
(2 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 (2 час.)**

1. Вывод передаточной функции электропривода.
2. Вывод дифференциального уравнения нагруженного электропривода.

### **Занятие 3. Синтез корректирующих устройств (2 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 (4 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 (2 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 (4 час.)**

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

2. Особенности синтеза адаптивная система формирования предельно высокой скорости движения схвата многостепенного манипулятора.

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

#### **Занятие 7. Движение роботов в автоматическом режиме (2 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. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА**

#### **ПЕРЕЧЕНЬ ТИПОВЫХ ЭКЗАМЕНАЦИОННЫХ ВОПРОСОВ**

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 многосвязного 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 управления многозвенными манипуляторами.

#### **4. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИСЦИПЛИНЫ**

##### **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. Харитонов. - 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>