

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
«ЛЭТИ» ИМ. В.И. УЛЬЯНОВА (ЛЕНИНА)



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**  
дисциплины  
**«СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ»**  
для подготовки аспирантов по направлению  
13.06.01 – «Электро- и теплотехника»  
по направленности  
«Электротехнические комплексы и системы»

Санкт-Петербург

2017

## СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

№№ учебных планов: 7913030

Обеспечивающий факультет: ФЭА

Обеспечивающая кафедра: САУ

Общая трудоемкость (ЗЕТ) 3

Курс 1

Семестр 2

### **Виды занятий**

Лекции (академ. часов) 36

Все аудиторные (контактные) занятия (академ. часов) 36

Самостоятельная работа (академ. часов) 72

Всего (академ. часов) 108

### **Вид промежуточной аттестации**

Дифференцированный зачет (семестр) 2

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры Систем автоматического управления 26.06.2017 г., протокол № 01-06/2017.

Рабочая программа государственной итоговой аттестации рассмотрена и одобрена учебно-методической комиссией факультета Электротехники и автоматики 06.09.2017 г., протокол № 1.

## АННОТАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

### «СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ»

Дисциплина «Современные методы теории управления» знакомит аспирантов с методами теории управления, которые позволяют найти подходящее управление в условиях неполного, нечеткого и неточного описания характеристик объекта управления и характеристик окружающей среды. Неопределенность объекта отражает неточность модели, причем как параметрическую, так и структурную.

Особое внимание уделено вопросам стохастической нелинейной динамики для детерминированных систем. Рассмотрены локальные бифуркции седлового состояния равновесия, предельного цикла и структур типа двумерного тора, а также нелокальные бифуркции этих же атTRACTоров.

Затронуты вопросы построения робастных регуляторов для объектов с ограниченной неопределенностью ( $H_\infty$ -теория) с точки зрения внешнего подхода. Представлены основные математические результаты робастной устойчивости, задачи робастного управления и структур робастных регуляторов.

## SUBJECT SUMMARY

### «MODERN METHODS OF CONTROL THEORY»

Discipline «Modern methods of control theory» introduces graduate students to methods of control theory that allow finding suitable control in conditions of incomplete, fuzzy and inaccurate descriptions of the plant characteristics and the environment characteristics. Plant uncertainty reflects the inaccuracy of the model, both parametric and structural.

Questions of stochastic nonlinear dynamics for deterministic systems is paid particular attention. the local bifurcations of a saddle equilibrium state, a limit cycle and structures of two-dimensional torus, and nonlocal bifurcations of these attractors are also considered.

The construction of robust regulators for objects with limited uncertainty ( $H^\infty$ -theory) from the perspective of the external approach is described. Main mathematical results of robust stability, the problem of robust control and robust structures of the controllers are presented.

## **ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ**

1. Изучение основ моделирования и анализа стохастических нелинейных динамических систем. Овладение:

- знаниями об основных положениях теории стохастической нелинейной динамики для детерминированных систем невысокого порядка;
- умениями проводить анализ поведения систем, обладающих нелинейным характером.
- навыками построения робастных регуляторов для объектов с ограниченной неопределенностью ( $H_\infty$ -теория) с точки зрения внешнего подхода.

2. Формирование навыков исследования динамических систем по фазовым портретам с применением методов бифуркационного анализа. Овладение:

- знаниями об основных видах фазовых траекторий и видов бифуркаций;
- умениями прогнозировать поведение динамической системы в зависимости от характера изменения ее параметров (составлять и использовать бифуркационные диаграммы);
- навыками работы в интегрированных средах моделирования, проектирования и тестирования, ориентированных на выполнение задач управления в технических системах.

3. Освоение методов проектирования современных систем управления с использованием компьютерных технологий. Овладение:

- знаниями теоретических основ современных методов управления, основанных на пространствах Харди, Лебега, Гильберта;
- умениями выбора современных инструментальных средств, средств вычислительной техники и программного обеспечения для организации процессов проектирования робастных регуляторов;

- навыками практического использования базовых инструментальных средств анализа и синтеза робастных регуляторов систем управления;.

Перечень компетенций, в формировании которых участвует дисциплина, приведен в матрице компетенций, прилагаемой к ООП.

Настоящая программа составлена на основе «Программы кандидатских экзаменов по истории и философии науки, иностранному языку и специальным дисциплинам», утвержденной приказом Минобрнауки России от 8 октября 2007 г. № 274 (зарегистрирован Минюстом России 19 октября 2007 г., регистрационный № 10363).

## **МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП**

Дисциплина «Современные методы теории управления» относится к вариативной части ООП. Дисциплина изучается на основе ранее освоенных дисциплин учебного плана:

1. «Моделирование сложных систем на ранних стадиях их создания», и обеспечивает подготовку выпускной научной квалификационной работы (диссертации).

## **СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Введение (4 академ. час).**

Содержание, цель и значение дисциплины в подготовке аспирантов, ее связь с другими дисциплинами и подготовкой кандидатской диссертации. Краткое обсуждение разделов и тем дисциплины, рекомендуемой литературы. Классификация методов теории управления, основные современные подходы и техники.

### **1. Нелинейная динамика хаотических и стохастических систем (20 академ. часов).**

Предварительные замечания. Динамическая система и ее математическая модель. Кинематическая интерпретация системы дифференциальных уравнений. Об устойчивости, линейный анализ устойчивости, связь между  $\lambda_i$  и  $r_i$ , устойчивость периодических решений, Устойчивость квазипериодических решений, устойчивость хаотических решений, критерий странных. Линейный анализ устойчивости, ляпуновские характеристические показатели. Устойчивость периодических решений, матрица монодромии, мультиплликаторы. Фрактальное множество, дробная размерность, гипотеза Йорка–Каплана. Локальные и нелокальные бифуркции, гибель и рождение предельных циклов, квазипериодические и хаотические решения, гомоклинические траектории.

### **2. Адаптивное управление (30 академ. часов).**

Постановка задач управления. Содержательное определение адаптивной системы и адаптивного регулятора. Примеры задач адаптивного управления. Классификация адаптивных систем. Алгоритмы адаптации, поисковые и рекуррентные алгоритмы, конечно–сходящиеся алгоритмы. Адаптивное управление дискретными объектами. Градиентные процедуры. Два подхода к решению задачи адаптивного управления (прямая и непрямая схемы). Методы беспоисковой адаптации: градиентный метод, алгоритмы скоростного градиента, условия применения, условие квазистационарности; метод функций Ляпунова, алгоритмы параметрической и сигнальной настроек. Проблема измерения полного век-

тора переменных движения. Регуляризация алгоритмов настройки. Идентификационные свойства алгоритмов настройки. Метод мажорирующих функций. Прямое адаптивное управление нелинейными Лагранжевыми объектами. Параметризация, адаптивные алгоритмы. Адаптивное управление нелинейным манипулятором. Прямая схема адаптивного управления, алгоритмы адаптации, проблемы реализации в многомерном случае, использование наблюдателя состояния, пример адаптивной электромеханической системы. Задача идентификации, адаптивно-идентификационная схема, пример реализации. Скользящие режимы в системах управления. Понятие скользящих режимов. Описание движения системы в скользящих режимах, доопределения. Построение эквивалентных законов управления в скользящих режимах, условия устойчивости.

### **3. Робастное управление (30 академ. часов)**

Пространства Лебега и Харди. Теорема о связи норм в этих пространствах. Оператор проектирования в гильбертовом пространстве, операторы Лорана, Ганкея, Теплица. Теорема о норме ганкелева оператора. Проблема Нехари и ее решение, решение оптимизационной задачи, формула Френсиса-Крейна. Стабилизация многосвязанных объектов, проблема. Взаимно-простая факторизация. Описание множества всех стабилизаторов многосвязанной системы. Графический критерий Найквиста-Видьясагара устойчивости замкнутых многосвязанных систем. Управление с эталонной моделью, минимизация энергии выхода). Параметрическая неопределенность и робастная устойчивость. Теорема (критерий робастной устойчивости). Теорема Харитонова. Графический критерий Поляка-Цыпкина. Структурная неопределенность и робастная стабилизация. Теорема о стабилизации объекта с неопределенностью. Теорема о существовании непустого множества робастных стабилизаторов.

### **4. Бифуркационный анализ (20 академ. часов).**

Понятия фазового пространства, фазовой траектории, фазового портрета. Фазовый портрет динамической системы первого порядка. Фазовый портрет динамической системы второго порядка. Аттракторы и репеллеры - основные понятия и определения. Критерий странности, размерность аттрактора. Основные

понятия и определения. Бифуркации состояний равновесия: седло-узловая бифуркация, бифуркация Андронова-Хопфа. Понятие предельного цикла. Седло-узловая бифуркация предельного цикла. Бифуркация удвоения периода цикла. Бифуркация рождения (гибели) двумерного тора. Петля сепаратрисы седлового состояния равновесия. Гомоклиническая траектория седлового предельного цикла. Перемешивание.

**Заключение (4 академ. часа)**

Обобщение лекционного материала. Подведение итогов.

# УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

## Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

№	Название, библиографическое описание	Семестр	К-во экз. в библ. (на каф.)
Основная литература			
1	Методы классической и современной теории автоматического управления: в 5 т / под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. - Изд. 2., перераб. и доп. - М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004  Т. 5: Методы современной теории автоматического управления	2	16
2	Тюкин И. Ю., Терехов В. А. Адаптация в нелинейных динамических системах. М.: ЛКИ, 2008.	2	73
3	Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления / Под ред. Н.Д. Егупова; М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2002.744с.	2	30
4	Поляхов Н. Д., Приходько И.А., Поляхов Д.Н., Стоцкая А.Д. Современные методы теории управления. Конспект лекций: уч. пособие. – СПб. 2017.– <a href="http://lk.etu.ru/dashboard/api/download/2753">http://lk.etu.ru/dashboard/api/download/2753</a>	2	База ЭИОС СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
5	Поляхов Н. Д., Приходько И.А., Стоцкая А.Д. Современные методы теории управления в примерах и задачах: учеб.-метод. пособие. – СПб. 2017.– <a href="http://lk.etu.ru/dashboard/api/download/2752">http://lk.etu.ru/dashboard/api/download/2752</a>	2	База ЭИОС СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
Дополнительная литература			
1	Мирошник И. В. Теория автоматического управления. Т. 2. Нелинейные и оптимальные системы. СПб.: Питер, 2006. 271 с.	2	51

Зав. отделом учебной литературы

Т.В. Киселева

*расп. профессора Татьяны Киселевой Г.Н.*

**Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети  
«Интернет», используемых при освоении дисциплины**

№	Электронный адрес
1	В.С. Анищенко, В.В. Астахов, Т.Е. Вадивасова Регулярные и хаотические автоколебания. Синхронизация и влияние флюктуаций. Учебник-монография. М.: Изд-во "Интелект", 2009. 312с. <a href="http://chaos.ssu.runnet.ru/~wadim/books.htm">http://chaos.ssu.runnet.ru/~wadim/books.htm</a>
2	Дезоэр Ч., Видъясагар М. Системы с обратной связью: вход-выходные соотношения. М.: Наука, 1983. <a href="http://lib.mexmat.ru/books/63733">http://lib.mexmat.ru/books/63733</a>
3	Афанасьев В.Н. Колмановский В.Б. Носов В.Р. Математическая теория конструирования систем управления. – М.: Высшая школа.–1989.-448с. <a href="http://www.studmed.ru/afanasev-vn-kolmanovskiy-vb-nosov-vr-matematicheskaya-teoriya-konstruirovaniya-sistem-upravleniya_fd8236d4c94.html">http://www.studmed.ru/afanasev-vn-kolmanovskiy-vb-nosov-vr-matematicheskaya-teoriya-konstruirovaniya-sistem-upravleniya_fd8236d4c94.html</a>
4	Общие принципы построения адаптивных систем управления. Доступ: <a href="http://www.pereplet.ru/obrazovanie/stsoros/227.html">http://www.pereplet.ru/obrazovanie/stsoros/227.html</a>
5	Оптимальные и адаптивные системы. Учебное пособие для вузов / Александров А. Г. Доступ: <a href="http://www.mirknig.com/knigi/1181209388-optimalnye-i-adaptivnye-sistemy.html">http://www.mirknig.com/knigi/1181209388-optimalnye-i-adaptivnye-sistemy.html</a>
6	Тюкин И. Ю., Терехов В. А., Адаптация в нелинейных динамических системах Санкт-Петербург: ЛКИ, 2008. Доступ: <a href="http://lib.sibnet.ru/book/9736">http://lib.sibnet.ru/book/9736</a>

Информационные технологии (операционные системы, программное обеспечение общего и специализированного назначения, а также информационные справочные системы) и материально-техническая база, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, соответствуют требованиям федерального государственного образовательного стандарта высшего образования.

Описание информационных технологий и материально-технической базы приведено в УМКД дисциплины.

Конкретные формы и процедуры текущего контроля знаний и промежуточной аттестации, а также методические указания для обучающихся по самостоятельной работе при освоении дисциплин (содержащиеся в ОП) доводятся до сведения обучающихся на первом занятии.

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

**Разработчик**

д.т.н., проф.



Поляхов Н.Д.

**Рецензент**

д.т.н., проф.



Лукомский Ю.А.

**Зав. каф. САУ.**

д.т.н., проф.



Шелудько В.Н.

**Декан факультета ЭА**

к.т.н., доц.



Сентябрёв Ю.В.

**Согласовано**

**Председатель УМК факультета Электротехники и автоматики**

к.т.н., доцент



Сентябрёв Ю.В.

**Начальник МО**

д.т.н., проф.



Грязнов А.Ю.

**Заведующая ОДА**

к.ф.-м.н.



Кучерова О. В.

## ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№	Дата	Изменение	Дата заседания УМК, № прот-ла	Автор	Нач. МО
1					