

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»

«Утверждаю»

Декан факультета ВМК МГУ  
имени М.В. Ломоносова



Е.И. Моисеев

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**«Неклассические методы теории стабилизации»**

Уровень высшего образования – подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре

Направление подготовки – 01.06.01 «Математика и механика»

Направленность (профиль) – «Дифференциальные уравнения, динамические системы и оптимальное управление»  
(01.01.02)

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

### 1. НАИМЕНОВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Неклассические методы теории стабилизации

### 2. УРОВЕНЬ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Подготовка научно-педагогических кадров в аспирантуре.

### 3. НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ, НАПРАВЛЕННОСТЬ (ПРОФИЛЬ) ПОДГОТОВКИ

Направление подготовки – 01.06.01 «Математика и механика».

Направленность (профиль) – «Дифференциальные уравнения, динамические системы и оптимальное управление» (01.01.02)

### 4. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина относится к специальным дисциплинам вариативной части образовательной программы.

### 5. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Дисциплина участвует в формировании следующих компетенций образовательной программы:

Формируемые компетенции	Планируемые результаты обучения
Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий (ОПК-1)	З1(ОПК-1) ЗНАТЬ: современные методы исследования и информационно-коммуникационных технологий в соответствующей профессиональной области У1(ОПК-1) УМЕТЬ: уметь самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий

<p>ПК-1 Владение современными методами построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также методами разработки и реализации алгоритмов их решения на основе фундаментальных знаний в области математики и информатики</p>	<p>З1 (ПК-1) Знать:  современные методы построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современные методы разработки и реализации алгоритмов их решения  У1 (ПК-1) Уметь:  применять современные методы построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современные методы разработки и реализации алгоритмов их решения  В1 (ПК-1) Владеть:  навыками оптимального выбора современных методов построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современных методов разработки и реализации алгоритмов их решения</p>
<p>Способность использовать аналитические методы для решения задач стабилизации динамических объектов, функционирующих в условиях существенной неопределенности (СПК-64)</p>	<p>З1 (СПК-64) Знать:  современные методы построения стабилизаторов для динамических систем, функционирующих в условиях действия координатных, параметрических или структурных возмущений  У1 (СПК-64) Уметь  решать базовые задачи стабилизации для динамических систем, функционирующих в условиях существенной неопределенности  В1 (СПК-64) Владеть  навыками оптимального выбора инструментов и конструирования стабилизирующих регуляторов</p>

## 6. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Объем дисциплины составляет 3 зачетных единицы, всего 108 часов.

40 часов составляет контактная работа с преподавателем – 32 часа занятий лекционного типа, 4 часа мероприятий текущего контроля успеваемости, 4 часа групповых консультаций.

68 часов составляет самостоятельная работа аспиранта.

## 7. ВХОДНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Учащиеся должны владеть знаниями по математическому анализу, линейной алгебре, дифференциальным уравнениям, функциональному анализу в объеме, соответствующем основным образовательным программам бакалавриата и магистратуры по укрупненным группам направлений и специальностей 01.06.01 «Математика и механика».

## 8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В процессе обучения используется пакет прикладных программ MATLAB.

## 9. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

В рамках курса изучается проблема стабилизации динамических объектов (как линейных, так и нелинейных) в условиях существенной неопределенности. Дается классификация основных типов неопределенностей, для каждой из которых приводится краткий обзор известных методов стабилизации. Рассматривается задача одновременной стабилизации конечного семейства объектов, на основе которой излагаются подходы к построению стабилизирующих регуляторов для переключаемых систем. Обсуждается неклассический подход к решению задачи стабилизации для объектов с операторной неопределенностью, основанный на применении новых типов обратной связи.

The course studies the problem of stabilization of dynamic plants (both linear and nonlinear) under significant uncertainty. A classification of the main types of uncertainties is given, for each of which a brief overview of the known stabilization methods is given. The problem of simultaneous stabilization of a finite family of plants is considered, on the basis of which the approaches to the construction of stabilizing controllers for switched systems are presented. A non-classical approach to the problem of stabilization for plants with operator uncertainty based on the application of new types of feedback is discussed.

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины, форма промежуточной аттестации по дисциплине	Всего (часы)	В том числе								
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы					Самостоятельная работа учащегося, часы			
		из них					из них			
		Занятия лекционно го типа	Занятия семинарско го типа	Групповые консульта	Индивиду альные	Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости:	<b>Всего</b>	Выполнение домашних заданий	Подготовка рефератов и т.п..	<b>Всего</b>

						коллоквиумы, практические контрольные занятия и др.				
<p><b>Тема 1. Понятие об управлении динамическим объектом в условиях неопределенности.</b></p> <p>Основные типы неопределенностей в объектах и системах управления.</p> <p>Различные постановки задачи стабилизации в условиях неопределенности.</p>	<b>20</b>	8	-	-	-	2	<b>10</b>	10	-	<b>10</b>
<p><b>Тема 2. Методы построения линейных систем стабилизации при действии координатных возмущений.</b></p> <p>Принцип регулирования</p>	<b>24</b>	8	-	-	-	-	<b>8</b>	14	-	<b>14</b>

<p>по возмущению.</p> <p>Принцип компенсации при косвенном измерении возмущения.</p> <p>Принцип двухканальности.</p> <p>Метод встроенной модели.</p> <p>Астатические системы.</p> <p>Метод глубокой обратной связи.</p>										
<p><b>Тема 3. Стабилизация объектов с параметрической неопределенностью.</b></p> <p>Принцип каскадного регулирования.</p> <p>Стабилизация интервальных объектов.</p> <p>Адаптивная стабилизация.</p> <p>Стабилизация переключаемых систем</p>	<b>26</b>	8	-	-	-	<b>2</b>	<b>10</b>	16	-	<b>16</b>
<p><b>Тема 4. Стабилизация объектов при действии</b></p>	<b>38</b>	8	-	4	-	-	<b>12</b>	28	-	<b>28</b>

<b>структурных возмущений</b>											
Стабилизация регулятором переменной структуры.											
Одновременная стабилизация											
Основы теории координатно-операторной обратной связи											
<b>Итого</b>	<b>108</b>						<b>40</b>				<b>68</b>

## 10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ

Самостоятельная работа учащихся состоит в изучении лекционного материала, учебно-методической литературы

## 11. РЕСУРСНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Основная учебно-методическая литература

- 1) Емельянов С.В., Коровин С.К. "Новые типы обратной связи" - М.: Наука, 1997.
- 2) Ким Д.П. "Теория автоматического управления. Ч. 1, 2." – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003.

- 3) Крутько П.Д. "Обратные задачи динамики в теории автоматического управления" – М.: Машиностроение, 2004.
- 4) Халил Х.К. Нелинейные системы. – М.-Ижевск: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", 2009.
- 5) Фурсов А.С. "Одновременная стабилизация: теория построения универсального регулятора для семейства динамических объектов" – М.: АРГАМАК-МЕДИА, 2016.

Дополнительная учебно-методическая литература

- 1) Воронов А.А. "Устойчивость, управляемость, наблюдаемость" - М.: Наука, 1979.
- 2) Цыпкин Я.З. "Основы теории автоматических систем" - М.: Наука, 1977.
- 3) Краснощеченко В.И., Крищенко А.П. Нелинейные системы: геометрические методы анализа и синтеза. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2005.
- 4) Емельянов С.В. Системы автоматического управления с переменной структурой. – М.: Наука, 1967.
- 5) Поршнев С.В. MATLAB 7. Основы работы и программирования. Учебник. — М.: Бином. Лаборатория знаний, 2006. — 320 с.
- 6) Шпилевая О.Я., Котов К.Ю. Переключаемые системы: устойчивость и проектирование (обзор) // Автометрия. 2008. Т. 44, № 5. С. 71-87.
- 7) Васильев С.Н., Маликов А.И. О некоторых результатах по устойчивости переключаемых и гибридных систем // Сборник статей "Актуальные проблемы механики сплошной среды. К 20-летию ИММ КазНЦ РАН". Казань: Фолиант, 2011. Т. 1. С. 23-81.
- 8) Heemels W.P.M.H., Schutter B.De., Lunze J., Lazar M. Stability analysis and controller synthesis for hybrid dynamical systems // Phil. Trans. R. Soc. A. 2010. V.368. P. 4937-4960.
- 9) Liberzon D., Morse A.S. Basic problems in stability and design of switched systems // IEEE Control Systems. 1999. V. 19. N 5. P. 59-70.
- 10) Hespanha J.P. Uniform stability of switched linear systems: extensions of LaSalle's invariance principle // Automatic Control, IEEE Transactions. 2004. V. 49. N 4. P. 470-482.

Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

- 1) <http://www.mathworks.com>
- 2) <http://matlab.exponenta.ru/>

Информационные технологии, используемые в процессе обучения

В процессе обучения используется пакет прикладных программ MATLAB.

Материально-техническая база

Для преподавания дисциплины требуется аудитория с презентационным оборудованием, маркерной или меловой доской.

## 12. ЯЗЫК ПРЕПОДАВАНИЯ



Русский

### 13. РАЗРАБОТЧИК ПРОГРАММЫ, ПРЕПОДАВАТЕЛИ

Д.ф.-м.н., профессор Фурсов Андрей Серафимович ([fursov@cs.msu.ru](mailto:fursov@cs.msu.ru))

#### Список вопросов для экзамена.

- 1) Основные типы неопределенностей в управляемых динамических системах. Примеры
- 2) Классификация задач стабилизации в условиях неопределенности
- 3) Понятие об инвариантных системах автоматического управления.
- 4) Регулирование по нагрузке.
- 5) Регулирование по измеряемому возмущению.
- 6) Метод компенсации возмущения при косвенном измерении возмущения.
- 7) Принцип двухканальности.
- 8) Метод встроенной модели.
- 9) Метод глубокой обратной связи.
- 10) Назначение адаптивных систем управления.
- 11) Структура и типы адаптивных систем. Общая постановка задачи адаптивного управления.
- 12) Основные этапы процедуры построения алгоритмов адаптивного управления.
- 13) Экстремальные системы. Проблемы построения.
- 14) Параметрическая форма представления линейного объекта.
- 15) Адаптивные системы с идентификатором. Постановка задачи.
- 16) Градиентный метод для построения алгоритма адаптации.
- 17) Проблема параметрической сходимости алгоритма адаптации.
- 18) Адаптивные системы с эталонной моделью. Сведение к задаче идентификации.
- 19) Определение переключаемой системы. Примеры. Определение решения. Переключаемые линейные системы.
- 20) Устойчивость переключаемых линейных систем.
- 21) Основные постановки задач об устойчивости для переключаемых линейных систем (3 задачи).
- 22) Необходимое условие устойчивости.
- 23) Достаточные условия устойчивости переключаемых линейных систем.
- 24) Общая постановка задачи одновременной стабилизации для конечного набора линейных объектов заданных в пространстве состояний.

- 25) Применение методов одновременной стабилизации для управления переключаемыми системами
- 26) Метод квадратичной стабилизации для решения задачи стабилизации переключаемых линейных систем при произвольных переключающих сигналах.
- 27) Линейные матричные неравенства: определение, алгоритм сведения задачи решения матричного неравенства Ляпунова к решению линейного матричного неравенства
- 28) Сверхустойчивые линейные системы: определение, устойчивость (теорема Гершгорина), оценка нормы решения сверхустойчивой системы.
- 29) Метод сверхстабилизации для решения задачи стабилизации переключаемых линейных систем при произвольных переключающих сигналах.
- 30) Синтез систем с переменной структурой.
- 31) Принцип бинарности для управляемых систем
- 32) Координатно-операторная обратная связь

**Оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине**

Промежуточная аттестация состоит из двух этапов – выполнения практического контрольного задания, проверяющего приобретенные учащимся умения и навыки, и индивидуального собеседования, проверяющего приобретенные знания.

Средства для оценивания планируемых результатов обучения, критерии и показатели оценивания приведены ниже.

РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ	КРИТЕРИИ и ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ из соответствующих карт компетенций					ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА
	1	2	3	4	5	
	Неудовлетворительно	Неудовлетворительно	Удовлетворительно	Хорошо	Отлично	
УМЕТЬ: самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий У1 (ОПК-1)	Отсутствие умений	Частично освоенное умение самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий	В целом успешное, но не систематическое умение самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий	Успешное и систематическое умение самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных методов исследования и информационно-коммуникационных технологий	доклад на научном семинаре
ЗНАТЬ: современные	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления	В целом сформированные, но	Сформированные, но содержащие	Сформированные систематические	Контрольные работы

методы исследования и информационно-коммуникационных технологий в соответствующей профессиональной области 31(ОПК-1)		современных методах исследования и информационно-коммуникационных технологий в соответствующей профессиональной области	неполные знания о современных методах исследования и информационно-коммуникационных технологий в соответствующей профессиональной области	отдельные пробелы знания о современных методах исследования и информационно-коммуникационных технологий в соответствующей профессиональной области	знания о современных методах исследования и информационно-коммуникационных технологий в соответствующей профессиональной области	
ЗНАТЬ: современные методы построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современные методы разработки и реализации алгоритмов их решения 31 (ПК-1)	Отсутствие знаний	Фрагментарные представления о современных методах построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современных методах разработки и реализации алгоритмов их решения	В целом сформированные, но неполные знания о современных методах построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современных методах разработки и реализации алгоритмов их решения	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания о современных методах построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современных методах разработки и реализации алгоритмов их решения	Сформированные систематические знания о современных методах построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современных методах разработки и реализации алгоритмов их решения	Устный экзамен
УМЕТЬ: применять современные методы построения и анализа	Отсутствие умений	Фрагментарные умения применять современные методы построения и анализа математических моделей, возникающих при решении	В целом успешное, но не систематическое умение применять современные методы построения и анализа математических	Успешное, но содержащее отдельные пробелы умение применять современные методы построения и анализа	Сформированное умение применять современные методы построения и анализа математических моделей,	Устный экзамен

математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современные методы разработки и реализации алгоритмов их решения У1 (ПК-1)		естественнонаучных задач, а также современные методы разработки и реализации алгоритмов их решения	моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современные методы разработки и реализации алгоритмов их решения	математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современные методы разработки и реализации алгоритмов их решения	возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современные методы разработки и реализации алгоритмов их решения	
ВЛАДЕТЬ: навыками оптимального выбора современных методов построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современных методов разработки и реализации алгоритмов их решения В1 (ПК-1)	Отсутствие навыков	Фрагментарное владение навыками оптимального выбора современных методов построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современных методов разработки и реализации алгоритмов их решения	В целом успешное, но не полное владение навыками оптимального выбора современных методов построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современных методов разработки и реализации алгоритмов их решения	Успешное, но содержащее отдельные пробелы владение навыками оптимального выбора современных методов построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современных методов разработки и реализации алгоритмов их решения	Сформированное владение навыками оптимального выбора современных методов построения и анализа математических моделей, возникающих при решении естественнонаучных задач, а также современных методов разработки и реализации алгоритмов их решения	Устный экзамен, контрольные работы
Знать:	Отсутствие	Фрагментарные	В целом	Сформированные, но	Сформированные	Устный экзамен

современные методы построения стабилизаторов для динамических систем, функционирующих в условиях действия координатных, параметрических или структурных возмущений 31 (СПК-64)	знаний	представления о методах построения стабилизаторов для динамических систем, функционирующих в условиях действия координатных, параметрических или структурных возмущений	сформированные, но неполные знания о методах построения стабилизаторов для динамических систем, функционирующих в условиях действия координатных, параметрических или структурных возмущений	содержащие отдельные пробелы знания о методах построения стабилизаторов для динамических систем, функционирующих в условиях действия координатных, параметрических или структурных возмущений	систематические знания о методах построения стабилизаторов для динамических систем, функционирующих в условиях действия координатных, параметрических или структурных возмущений	
Уметь решать базовые задачи стабилизации для динамических систем, функционирующих в условиях существенной неопределенности У1 (СПК-64)	Отсутствие умений	Фрагментарные умения решать базовые задачи стабилизации для динамических систем, функционирующих в условиях существенной неопределенности	В целом успешное, но не систематическое умение решать базовые задачи стабилизации для динамических систем, функционирующих в условиях существенной неопределенности	Успешное, но содержащее отдельные пробелы умение решать базовые задачи стабилизации для динамических систем, функционирующих в условиях существенной неопределенности	Успешное и систематическое умение решать базовые задачи стабилизации для динамических систем, функционирующих в условиях существенной неопределенности	Устный экзамен
Владеть навыками оптимального выбора инструментов и конструирования	Отсутствие навыков	Фрагментарное владение навыками оптимального выбора инструментов и конструирования стабилизирующих	В целом успешное, но не полное владение навыками оптимального выбора инструментов и конструирования стабилизирующих	Успешное, но содержащее отдельные пробелы владение оптимальным выбором инструментов и конструирования	Сформированное владение навыками оптимального выбора инструментов и конструирования стабилизирующих	Устный экзамен

я стабилизирующ их регуляторов В1 (СПК-64)		регуляторов	регуляторов	стабилизирующих регуляторов	регуляторов	
-----------------------------------------------------	--	-------------	-------------	--------------------------------	-------------	--