

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 семинарского типа | Групповые консультации | Индивидуальные | Учебные занятия, направленные на проведение текущего контроля успеваемости: | Всего | Выполнение домашних заданий | Подготовка рефератов и т.п.. | Всего |

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

| | | | | | | | | | | |
|---|-----------|---|---|---|---|----------|-----------|----|---|-----------|
| <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>Тема 3. Стабилизация объектов с параметрической неопределенностью.</p> <p>Принцип каскадного регулирования.</p> <p>Стабилизация интервальных объектов.</p> <p>Адаптивная стабилизация.</p> <p>Стабилизация переключаемых систем</p> | 26 | 8 | - | - | - | 2 | 10 | 16 | - | 16 |
| <p>Тема 4. Стабилизация объектов при действии</p> | 38 | 8 | - | 4 | - | - | 12 | 28 | - | 28 |

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

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) Поршнева 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)

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 | |
|---|--|-------------|-------------|--------------------------------|-------------|--|