

## Программа учебной дисциплины «Адаптивные системы управления»

Утверждена  
Академическим советом ОП<sup>1</sup>  
Протокол № от \_\_.\_\_.20\_\_

Разработчик	Андрианова Ольга Геннадьевна, доцент, ДМП МИЭМ
Число кредитов	5
Контактная работа (час.)	72
Самостоятельная работа (час.)	118
Курс, Образовательная программа	4 курс Прикладная математика
Формат изучения дисциплины	Без использования онлайн курса

### 1. Цель, результаты освоения дисциплины и пререквизиты

Целями освоения дисциплины "Адаптивные системы управления" являются:

1. освоение способов проверки устойчивости, асимптотической устойчивости (в том числе и глобальной) автономных и неавтономных систем управления;
2. овладение методами доказательства неустойчивости систем управления;
3. проработка методов построения адаптивного управления для систем с эталонной моделью и идентификатором.

В результате освоения дисциплины студенты научатся:

1. формулировать различные способы проверки устойчивости динамических систем;
2. составлять функции Ляпунова различными способами;
3. определять неустойчивость систем управления;
4. применять алгоритмы построения адаптивного управления с эталонной моделью и идентификатором для типовых задач;
5. иллюстрировать посредством симуляции в выбранной программной среде поведение систем, замкнутых адаптивными законами управления;

---

<sup>1</sup> Для ПУД из общеуниверситетского пула – Руководитель Департамента.

6. выявлять наиболее эффективный метод анализа устойчивости и находить решение типовой задачи;
7. аргументировать выбор критерия устойчивости для различных систем управления.

## 2. Содержание учебной дисциплины

Тема (раздел дисциплины)	Объем в часах <sup>2</sup>	Планируемые результаты обучения (ПРО), подлежащие контролю	Формы контроля
	лк		
	см		
	онл/ср		
Тема 1. Метод функций Ляпунова.	1	Составляет функции Ляпунова различными способами. Выявляет наиболее эффективный метод анализа устойчивости.	Письменная работа 80 минут Устный опрос 20 минут
	0		
	1		
	0		
Тема 2. Основы адаптивного управления.	6	Формулирует основные понятия и принципы адаптивного управления.	Письменная работа 40 минут
	6		
	28		
	0		
Тема 3 Адаптивное управление с эталонной моделью.	1	Применяет алгоритмы построения адаптивного управления с эталонной моделью и идентификатором для типовых задач.	Письменная работа 80 минут
	0		
	1		
	0		
Тема 4. Адаптивное управление с идентификатором.	1	Иллюстрирует поведение систем, замкнутых адаптивными законами управления.	
	0		
	1		
	0		
<b>Часов по видам учебных занятий:</b>			<b>36</b>
			<b>36</b>
			<b>118</b>
	<b>Итого часов:</b>		<b>190</b>

Формы учебных занятий:

---

<sup>2</sup> Не заполняется для ПУД, которые не вошли в УП ОП и не запланированы в расписании учебных занятий

лк – лекции в аудитории;

см - семинары/ практические занятия/ лабораторные работы в аудитории;

онл – лекции или иные виды работы студента с помощью онлайн-курса;

ср – самостоятельная работа студента.

### **Содержание разделов дисциплины:**

*Тема 1. Знакопостоянные и знакоопределенные функции. Положительно определенная квадратичная форма. Устойчивость автономных и неавтономных систем. Теоремы об устойчивости. Устойчивость нелинейных систем по линейному приближению. Методы построения функций Ляпунова.*

*Тема 2. Структура и типы адаптивных систем управления. Общая постановка задач адаптивного управления. Общая характеристика методов синтеза адаптивных систем управления.*

*Тема 3. Алгоритм адаптивного управления линейным объектом 1-го порядка. Адаптивное управление линейным объектом (по состоянию и выходу). Адаптивное управление по состоянию нелинейным объектом. Адаптивное управление и робастность.*

*Тема 4. Идентификация и модель для получения оценки. Градиентный идентификатор. МНК-идентификатор. МНК-идентификатор с экспоненциальной потерей памяти.*

### **3. Оценивание**

$$O_{\text{накопленная за 2 модуль}} = 0,7 \cdot O_{\text{провер. аудит. работы}} + 0,3 \cdot O_{\text{аудит}},$$

$$O_{\text{накопленная за 3 модуль}} = 0,7 \cdot O_{\text{провер. аудит. работы}} + 0,3 \cdot O_{\text{аудит}},$$

где  $O_{\text{аудит}}$  - оценка за активность на семинарах (присутствие, ответы на вопросы, самостоятельное решение задач у доски и пр.).

$$O_{\text{накопленная}} = 0,5 O_{\text{накопленная за 2 модуль}} + 0,5 O_{\text{накопленная за 3 модуль}}.$$

Если накопленная оценка  $O_{\text{накопленная}}$  выше 7 баллов, преподаватель вправе освободить от сдачи экзамена с выставлением им в экзаменационную ведомость соответствующего числа баллов (8, 9, 10 баллов). Студент может отказаться и сдавать экзамен.

**Итоговая оценка по курсу** выставляется по следующей формуле:

$$O_{\text{итоговая}} = 0,5 O_{\text{накопленная}} + 0,5 O_{\text{экзамен}}.$$

Способ округления: менее 3,7 – 3 балла; [3,7;4,5) – 4 балла; далее способ округления - арифметический.

Блокирующие элементы не предусмотрены.

#### **4. Примеры оценочных средств**

##### **Примеры вопросов для оценки качества освоения дисциплины**

###### Теоретические вопросы без доказательств

- Знакопостоянные и знакоопределенные функции.
- Положительно (отрицательно) определенная квадратичная форма: определение и критерий Сильвестра.
- Определение автономной и неавтономной систем. Производная в силу системы.
- Устойчивость, асимптотическая устойчивость, глобальная асимптотическая устойчивость, неустойчивость.
- Теорема Ляпунова об асимптотической устойчивости.
- Функции, допускающие бесконечно большой нижний и бесконечно малый верхний пределы.
- Метод разделения переменных (метод Барбашина).
- Целая траектория (полутраектория). Устойчивость при постоянно действующих возмущениях.
- Уравнение Ляпунова: вид и существование решения.
- Методы построения функций Ляпунова.
- Адаптивная система управления. Самонастраивающаяся система. Самоорганизующаяся система.
- Целевая функция. Время адаптации.
- Робастность. Регрессор.
- Идентификация системы. Активная идентификация.
- Активный эксперимент. Пассивный эксперимент.
- Сигнальная матрица. Фильтрация.
- Метод мертвой зоны. Метод замены регрессора.
- Общая блок-схема адаптивной системы управления.
- Блок-схема самонастраивающейся системы управления с эталонной моделью.
- Блок-схема самонастраивающейся системы управления с идентификатором.
- Задача адаптивного управления по состоянию для системы общего вида.
- Задача адаптивного управления по выходу для системы общего вида.
- Задача адаптивного управления линейным объектом первого порядка.
- Задача адаптивного управления линейным объектом n-го порядка.
- Задача адаптивного управления нелинейным объектом n-го порядка.
- Идентификационная модель линейного объекта первого порядка.
- Идентификационная модель линейного объекта n-го порядка.

###### Теоретические вопросы с доказательствами

1. Вспомогательная лемма о собственных значениях квадратичной формы.

2. Теорема Ляпунова об устойчивости неавтономной системы.
3. Теорема Ляпунова об асимптотической устойчивости в целом для неавтономных систем.
4. Первая теорема Ляпунова о неустойчивости неавтономных систем.
5. Вторая теорема Ляпунова о неустойчивости неавтономных систем.
6. Теорема Малкина об устойчивости при постоянно действующих возмущениях.
7. Критерий Ляпунова устойчивости линейных систем.
8. Первая теорема о положительной вещественной части собственных значений.
9. Вторая теорема о положительной вещественной части собственных значений.
10. Вспомогательная лемма.
11. Критерий Ляпунова устойчивости нелинейных систем.
12. Теорема об адаптивном управлении по состоянию нелинейным объектом.

## 5. Ресурсы

### 5.1. Рекомендуемая основная литература

№п/п	Наименование
1.	<i>Ким Д. П.</i> Теория автоматического управления. Т. 2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы: Учеб. пособие. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. - 464 с. - ISBN 5-9221-0534-5 (Глава 11)
2.	<i>Фрадков А.Л.</i> Адаптивное управление в сложных системах:беспоисковые методы. — М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. -296 с.-ISBN 5-02-014105-4.

### 5.2. Рекомендуемая дополнительная литература

№п/п	Наименование
1.	<i>A. Astolfi, D. Karagiannis, R. Ortega.</i> Nonlinear and adaptive control with applications. — Springer Science & Business Media, 2007. ISBN 978-1-84800-065-0.
2.	<i>Афанасьев. В.Н.</i> Математическая теория конструирования систем. М.: Высшая школа, 2003.

## 6. Особенности организации обучения для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

В случае необходимости, обучающимся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья (по заявлению обучающегося) а для инвалидов также в соответствии с индивидуальной программой реабилитации инвалида, могут предлагаться следующие варианты восприятия учебной информации с учетом их

индивидуальных психофизических особенностей, в том числе с применением электронного обучения и дистанционных технологий:

6.1.1. *для лиц с нарушениями зрения*: в печатной форме увеличенным шрифтом; в форме электронного документа; в форме аудиофайла (перевод учебных материалов в аудиоформат); в печатной форме на языке Брайля; индивидуальные консультации с привлечением тифлосурдопереводчика; индивидуальные задания и консультации.

6.1.2. *для лиц с нарушениями слуха*: в печатной форме; в форме электронного документа; видеоматериалы с субтитрами; индивидуальные консультации с привлечением сурдопереводчика; индивидуальные задания и консультации.

6.1.3. *для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата*: в печатной форме; в форме электронного документа; в форме аудиофайла; индивидуальные задания и консультации.