



СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
ПЕРВЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный Электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина)»
(СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)



УТВЕРЖДАЮ

Директор департамента образования

С.А. Галунин

Санкт-Петербург 2020 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины

«ОСНОВЫ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ УСТОЙЧИВОСТИ»

для подготовки бакалавров

по направлению

15.03.06 «МЕХАТРОНИКА И РОБОТОТЕХНИКА»

по профилю

«Мехатроника»

Санкт-Петербург

2020

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Разработчик

доцент, к.т.н., с.н.с.



В.Б. Второв

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры САУ
29.09.2020, протокол № 2-09/2020

Заведующий кафедрой САУ
д.т.н., доцент



В.Н. Шелудько

Рабочая программа рассмотрена и одобрена учебно-методической комиссией
ФЭА, 30.09.2020, протокол № 2

Председатель УМК ФЭА
декан, к.т.н.



Сентябрев Ю.В.

Согласовано:

Начальник ОМОЛА



О.В. Загороднюк

1 СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Обеспечивающий факультет	ФЭА
Обеспечивающая кафедра	САУ
Общая трудоемкость (ЗЕТ)	2
Курс	4
Семестр	8
Виды занятий	
Лекции (академ. часов)	20
Лабораторные занятия (академ. часов)	10
Иная контактная работа (академ. часов)	1
Все контактные часы (академ. часов)	31
Самостоятельная работа, включая часы на контроль (академ. часов)	41
Всего (академ. часов)	72
Вид промежуточной аттестации	
Дифф. зачет (курс)	4

2 АННОТАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

«ОСНОВЫ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ УСТОЙЧИВОСТИ»

В дисциплине изучаются математические методы анализа устойчивости динамических систем: первый метод Ляпунова, метод функций Ляпунова, методы анализа устойчивости линейных систем, не изучавшиеся в базовом курсе теории автоматического управления. Рассматриваются методы синтеза законов управления динамическими объектами, использующие теорию устойчивости, в частности алгоритм скоростного градиента. Даются основные понятия и результаты по устойчивости, грубости и робастности неопределенных систем.

SUBJECT SUMMARY

«FUNDAMENTALS OF MATHEMATICAL STABILITY THEORY»

The discipline studies mathematical methods for analyzing the stability of dynamical systems: the first Lyapunov's method, the method of Lyapunov functions, methods for analyzing the stability of linear systems, which were not studied in the basic course of automatic control theory. Methods of synthesis of dynamic object control laws are considered, using the theory of stability, in particular the Speed Gradient Algorithm. Basic concepts and results on stability and robustness of uncertain systems are given.

3 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

3.1 Цели и задачи дисциплины

1. Устойчивость динамических систем. Приобретаются базовые знания по математической теории устойчивости и практике применения ее методов .
2. Формируются базовые знания в области математических методов исследования устойчивости движения и состояний равновесия линейных и нелинейных систем автоматического управления, а также методов синтеза законов управления на основе теории устойчивости.
3. Умения и навыки анализа устойчивости с помощью первого и второго методов Ляпунова, алгоритма скоростного градиента, харитоновских методов, методов анализа устойчивости линейных систем.

3.2 Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина изучается на основе ранее освоенных дисциплин учебного плана:

1. «Теория автоматического управления»
2. «Алгебра и геометрия»

и обеспечивает подготовку выпускной квалификационной работы.

3.3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате освоения образовательной программы обучающийся должен достичь следующие результаты обучения по дисциплине:

Код компетенции/ индикатора компетенции	Наименование компетенции/индикатора компетенции
ПК-1	Способен составлять математические модели мехатронных и робототехнических систем, их подсистем и отдельных элементов и модулей, включая информационные, электромеханические, гидравлические, электрогидравлические, электронные устройства и средства вычислительной техники
<i>ПК-1.2</i>	<i>Знает принципы построения систем автоматического управления, умеет составлять их математические модели, исследовать устойчивость, определять характеристики точности и быстродействия</i>
<i>ПК-1.3</i>	<i>Знает принципы построения архитектуры систем управления робототехническими системами</i>
ПК-5	Способен проводить вычислительные эксперименты с использованием стандартных программных пакетов с целью исследования математических моделей мехатронных и робототехнических систем
<i>ПК-5.1</i>	<i>Проводит вычислительные эксперименты для исследования математических моделей элементов мехатронных и робототехнических систем с использованием специальных программных средств</i>

4 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1 Содержание разделов дисциплины

4.1.1 Наименование тем и часы на все виды нагрузки

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Лек, ач	Лаб, ач	ИКР, ач	СР, ач
1	Тема 1. Особенности нелинейных систем. Математические модели динамических систем	1	2		2
2	Тема 2. Линеаризация нелинейных математических моделей	2			4
3	Тема 3. Квадратичные формы.	2	1		4
4	Тема 4. Решение матричного уравнения состояния. Состояние равновесия динамической системы	1	1		2
5	Тема 5. Устойчивость состояний равновесия и решений дифференциальных уравнений	2	2		2
6	Тема 6. Некоторые методы анализа устойчивости линейных систем	1			4
7	Тема 7. Второй метод Ляпунова	4	2		7
8	Тема 8. Методы построения функций Ляпунова	1			3
9	Тема 9. Применение методов теории устойчивости в задачах синтеза адаптивных систем	3	2	1	6
10	Тема 10. Алгоритм скоростного градиента	2	0	0	4
11	Тема 11. Управление неопределенными системами	1			3
	Итого, ач	20	10	1	41
	Из них ач на контроль	0	0	0	0
	Общая трудоемкость освоения, ач/зе	72/2			

4.1.2 Содержание

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
1	Тема 1. Особенности нелинейных систем. Математические модели динамических систем	Виды математических моделей динамических систем. Нелинейные системы. Статические и динамические нелинейные звенья. Уравнения нелинейных систем. Описание нелинейных систем в пространстве состояний.
2	Тема 2. Линеаризация нелинейных математических моделей	Линеаризация нелинейной статической характеристики – функции одной переменной – методом разложения в ряд Тейлора. Линеаризация функции нескольких переменных. Линеаризация уравнений в форме переменных состояния. Практические методы линеаризации.

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
3	Тема 3. Квадратичные формы.	Знакоопределенные (положительно и отрицательно определенные) и знакопостоянные (положительно полуопределенные и отрицательно полуопределенные) квадратичные формы и соответствующие им матрицы. Неопределенные (знакопеременные) квадратичные формы. Критерий Сильвестра. Связь между типом матрицы и ее собственными значениями. Функции Ляпунова.
4	Тема 4. Решение матричного уравнения состояния. Состояние равновесия динамической системы	Переходная матрица. Матричная экспонента и методы ее определения. Формула Коши. Состояние равновесия. Методы определения состояний равновесия.
5	Тема 5. Устойчивость состояний равновесия и решений дифференциальных уравнений	Устойчивость состояния равновесия. Устойчивость по Ляпунову и асимптотическая устойчивость («в малом» и «в целом»). Устойчивость решений дифференциальных уравнений. Первый метод Ляпунова.
6	Тема 6. Некоторые методы анализа устойчивости линейных систем	Критерии устойчивости Рауса, Льенара-Шипара, Михайлова, Липатова-Соколова.
7	Тема 7. Второй метод Ляпунова	Функции Ляпунова. Метод функций Ляпунова в анализе и синтезе нелинейных систем. Теоремы Ляпунова, Красовского и Барбашина-Красовского об устойчивости и асимптотической устойчивости. Теоремы Ляпунова и Четаева о неустойчивости движения. Уравнение Ляпунова.
8	Тема 8. Методы построения функций Ляпунова	Метод неопределенных коэффициентов. Функции Ляпунова вида «квадратичная форма плюс интеграл от нелинейности».
9	Тема 9. Применение методов теории устойчивости в задачах синтеза адаптивных систем	Некоторые результаты матричной алгебры. Уравнения адаптивной системы с эталонной моделью (АСЭМ). Синтез алгоритма параметрической адаптации в АСЭМ на основе второго метода Ляпунова. Уравнения и структура АСЭМ.
10	Тема 10. Алгоритм скоростного градиента	Алгоритм скоростного градиента и его применение к синтезу адаптивной системы.
11	Тема 11. Управление неопределенными системами	Неопределенные объекты и системы. Грубость и робастность. Задача адаптивного управления. Интервальные системы. Теоремы Харитонова.

4.2 Перечень лабораторных работ

Наименование лабораторной работы	Количество ауд. часов
1. Моделирование линейных и нелинейных систем. Решение матричного уравнения состояния	3
2. Геометрическое представление квадратичных форм и функций Ляпунова. Решение уравнения Ляпунова	3
3. Исследование устойчивости движения нелинейных систем	2

Наименование лабораторной работы	Количество ауд. часов
4. Исследование адаптивной системы с эталонной моделью	2
Итого	10

4.3 Перечень практических занятий

Практические занятия не предусмотрены.

4.4 Курсовое проектирование

Курсовая работа (проект) не предусмотрены.

4.5 Реферат

Реферат не предусмотрен.

4.6 Индивидуальное домашнее задание

Индивидуальное домашнее задание не предусмотрено.

4.7 Доклад

Доклад не предусмотрен.

4.8 Кейс

Кейс не предусмотрен.

4.9 Организация и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы

Изучение дисциплины сопровождается самостоятельной работой студентов с рекомендованными преподавателем литературными источниками и информационными ресурсами сети Интернет.

Планирование времени для изучения дисциплины осуществляется на весь

период обучения, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Обучающимся, в рамках внеаудиторной самостоятельной работы, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников материал, законспектированный на лекциях. При этом на основе изучения рекомендованной литературы целесообразно составить конспект основных положений, терминов и определений, необходимых для освоения разделов учебной дисциплины.

Особое место уделяется консультированию, как одной из форм обучения и контроля самостоятельной работы. Консультирование предполагает особым образом организованное взаимодействие между преподавателем и студентами, при этом предполагается, что консультант либо знает готовое решение, которое он может предписать консультируемому, либо он владеет способами деятельности, которые указывают путь решения проблемы.

Текущая СРС	Примерная трудоемкость, ач
Работа с лекционным материалом, с учебной литературой	0
Опережающая самостоятельная работа (изучение нового материала до его изложения на занятиях)	0
Самостоятельное изучение разделов дисциплины	10
Выполнение домашних заданий, домашних контрольных работ	8
Подготовка к лабораторным работам, к практическим и семинарским занятиям	8
Подготовка к контрольным работам, коллоквиумам	4
Выполнение расчетно-графических работ	4
Выполнение курсового проекта или курсовой работы	0
Поиск, изучение и презентация информации по заданной проблеме, анализ научных публикаций по заданной теме	0
Работа над междисциплинарным проектом	0
Анализ данных по заданной теме, выполнение расчетов, составление схем и моделей, на основе собранных данных	0
Подготовка к зачету, дифференцированному зачету, экзамену	7
ИТОГО СРС	41

5 Учебно-методическое обеспечение дисциплины

5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

№ п/п	Название, библиографическое описание	К-во экз. в библ.
Основная литература		
1	Мирошник, Илья Васильевич. Теория автоматического управления. Нелинейные и оптимальные системы [Текст] : учеб. пособие для вузов по группе направлений подгот. бакалавров и магистров 550000 - "Техн. науки" и диплом. специалистов 650000 - "Техника и технологии" дисциплине "Теория автомат. управления" / И.В. Мирошник, 2006. -271 с.	51
2	Демидович, Борис Павлович. Лекции по математической теории устойчивости [Текст] : Учеб. пособие для вузов по направлению и специальности "Математика" / Б.П.Демидович, 1998. -480 с.	32
Дополнительная литература		
1	Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления [Текст] : Учеб. для вузов по машиностроит. и приборостроит. специальностям / К.А.Пупков, Н.Д.Егупов, А.И.Гаврилов и др.; Под ред. Н.Д.Егупова, 2001. -743 с.	12
2	Фомин, Владимир Николаевич. Адаптивное управление динамическими объектами [Текст] / В.Н. Фомин, А.Л. Фрадков, В.А. Якубович, 1981. -447 с.	11

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

№ п/п	Электронный адрес
1	http://www.twirpx.com/file/19443/

5.3 Адрес сайта курса

Адрес сайта курса: <https://vec.etu.ru/moodle/course/view.php?id=5936>

6 Критерии оценивания и оценочные материалы

6.1 Критерии оценивания

Для дисциплины «Основы математической теории устойчивости» формой промежуточной аттестации является дифф. зачет. Оценивание качества освоения дисциплины производится с использованием рейтинговой системы.

Дифференцированный зачет

Оценка	Количество баллов	Описание
Неудовлетворительно	0 – 40	теоретическое содержание курса не освоено, необходимые практически навыки и умения не сформированы, выполненные учебные задания содержат грубые ошибки, дополнительная самостоятельная работа над курсом не приведет к существенному повышению качества выполнения учебных заданий
Удовлетворительно	41 – 69	теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, необходимые практические навыки и умения работы с освоенным материалом в основном сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий выполнено, некоторые из выполненных заданий содержат ошибки
Хорошо	70 – 85	теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, некоторые практические навыки и умения сформированы недостаточно, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество выполнения ни одного из них не оценено минимальным числом баллов, некоторые виды заданий выполнены с ошибками
Отлично	86 – 100	теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, необходимые практические навыки и умения сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество их выполнения оценено количеством баллов, близким к максимальному

Особенности допуска

Основой аттестации в виде дифференцированного зачета является рейтинговая система. Рейтинг студента определяется как взвешенная сумма (с равными весами) баллов, полученных им в результате выполнения двух контрольных работ, каждая из которых содержит несколько теоретических вопросов и несколько задач. Для получения положительной оценки текущего контроля необходимо, кроме получения минимального количества баллов за контрольные работы, выполнить и защитить все предусмотренные рабочей программой дисциплины лабораторные работы (оценка за лабораторный практикум имеет вид 1/0). Предварительную оценку дифференцированного зачета, объявляемую до начала зачетной недели, студент может улучшить, написав на зачетной неделе дополнительную контрольную работу, которую преподаватель составляет индивидуально для каждого такого студента.

6.2 Оценочные материалы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Примерные вопросы к дифф.зачету

№ п/п	Описание
1	Какая система называется а) стационарной; б) свободной; в) автономной?
2	Используются ли при проектировании адаптивных систем методы теории устойчивости?
3	Верно ли утверждение: "Если не удалось найти функцию Ляпунова, удовлетворяющую условию устойчивости или асимптотической устойчивости, то движение системы неустойчиво"?
4	Как выглядит и как используется уравнение Ляпунова?
5	Формулировка теоремы первого метода Ляпунова.
6	Дать определения положительно и отрицательно определенных квадратичных форм.
7	Что такое положительно полуопределенная квадратичная форма?
8	Критерий Сильвестра (формулировка).
9	Как установить отрицательную определенность матрицы?
10	Как судить о знакоопределенности квадратной матрицы по ее собственным значениям?

11	Сформулировать две теоремы Ляпунова второго метода Ляпунова -об устойчивости и об асимптотической устойчивости.
12	Теоремы Красовского и Барбашина-Красовского.
13	Теоремы Ляпунова и Четаева о неустойчивости.
14	Конструирование функций Ляпунова методом неопределенных коэффициентов.
15	Построение функции Ляпунова типа "квадратичная форма плюс интеграл от нелинейности".
16	Алгоритм скоростного градиента.
17	Синтез адаптивной системы с эталонной моделью методом функций Ляпунова (основные уравнения).
18	Две теоремы Харитонова.

Вариант теста

1. При линеаризации уравнений нелинейной системы "рабочая точка" – это ...

- а) точка установившегося режима
- б) начальное состояние системы
- и) любое состояние системы

2. Линеаризованное уравнение отличается от исходного нелинейного тем, что оно ...

- а) более простое
- б) более точное
- в) приближенное

3. Матричная экспонента определяется как ...

- а) отрезок степенного ряда
- б) бесконечный степенной ряд
- в) тригонометрический ряд

4. Какому уравнению удовлетворяет матричная экспонента?

- а) исходному дифференциальному уравнению

- б) уравнению Ляпунова
- в) характеристическому уравнению

5. Сколько полиномов надо проверять на устойчивость по первой теореме Харитонова?

- а) n
- б) 2 в степени n
- в) 2 в степени $n+1$

6. Сколько полиномов надо проверять на устойчивость по второй теореме Харитонова?

- а) 4
- б) 2
- в) n

9. Первый метод Ляпунова имеет дело ...

- а) с устойчивостью в малом
- б) с устойчивостью в целом
- в) с устойчивостью в большом

10. В адаптивной системе в качестве эталонной модели обычно берется ...

- а) модель объекта управления с номинальными параметрами
- б) произвольная динамическая система с желаемой динамикой
- в) система с лучшей динамикой, чем у объекта управления

Образцы задач (заданий) для контрольных (проверочных) работ

Вопросы к первой контрольной работе по курсу ОМТУ

Теоретические вопросы

1. Линеаризация функции нескольких переменных (подробное обоснование).
2. Линеаризация уравнений в форме переменных состояния (подробное обоснование).
3. Состояние равновесия (определение, метод нахождения).
4. Устойчивость по Ляпунову и асимптотическая устойчивость (определения).
5. Критерий устойчивости Михайлова (формулировка, графическая иллюстрация, в том числе нахождения на границе устойчивости).
6. Первый метод Ляпунова (теорема).

Задачи

1. Линеаризовать заданную нелинейную функцию нескольких переменных в окрестности заданной точки.
2. Определить с. з. λ_1 и λ_2 и сделать заключение о типе матрицы R (п. о., о. о. и т. д.).
3. Для квадратичной формы $Q(x_1, x_2) = \dots = x^T R x$ записать матрицу R и определить ее тип с помощью критерия Сильвестра.

Контрольная работа рассчитана на два академических часа. Каждому студенту будет составлен индивидуальный набор теоретических вопросов и задач из вышеприведенных перечней.

Весь комплект контрольно-измерительных материалов для проверки сформированности компетенции (индикатора компетенции) размещен в закрытой части по адресу, указанному в п. 5.3

6.3 График текущего контроля успеваемости

Неделя	Темы занятий	Вид контроля
7	Тема 6. Некоторые методы анализа устойчивости линейных систем	Контрольная работа
9	Тема 7. Второй метод Ляпунова	Контрольная работа

6.4 Методика текущего контроля

Проводятся две контрольные работы - на 7 и 9 неделях. Рейтинг студента вычисляется как взвешенная сумма оценок за контрольные работы (с максимальным значением 100) с равными весовыми коэффициентами. Также контролируется посещение занятий. Низкая посещаемость может быть основанием для снижения рейтинга. Далее рейтинг переводится в оценку по 5-балльной шкале.

7 Описание информационных технологий и материально-технической базы

Тип занятий	Тип помещения	Требования к помещению	Требования к программному обеспечению
Лекция	Лекционная аудитория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя, компьютер или ноутбук, проектор, экран, меловая или маркерная доска	1) Windows XP и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше
Лабораторные работы	Лаборатория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, компьютеры, рабочее место преподавателя, меловая или маркерная доска	1) Windows XP и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше 3) Matlab R2014b или выше
Самостоятельная работа	Помещение для самостоятельной работы	Оснащено компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета.	1) Windows XP и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше 3) Matlab R2014b или выше

8 Адаптация рабочей программы для лиц с ОВЗ

Адаптированная программа разрабатывается при наличии заявления со стороны обучающегося (родителей, законных представителей) и медицинских показаний (рекомендациями психолого-медико-педагогической комиссии). Для инвалидов адаптированная образовательная программа разрабатывается в соответствии с индивидуальной программой реабилитации.

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Дата	Изменение	Дата и номер протокола заседания УМК	Автор	Начальник ОМОЛА