



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
«30» сентября 2020 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины

«ТЕОРИЯ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ»

для подготовки бакалавров

по направлению

15.03.06 «МЕХАТРОНИКА И РОБОТОТЕХНИКА»

по профилю

«Мехатроника»

Санкт-Петербург

2020

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Разработчик
к.т.н., доцент



А.С. Ветчинкин

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

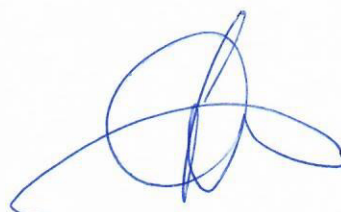
Заведующий кафедрой КСУ
д.т.н., доцент



А.Л. Стариченков

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

Председатель УМК ФЭА
декан, к.т.н.



Ю.В. Сентябрьев

Согласовано:

Начальник ОМОЛА



О.В. Загороднюк

1 СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Обеспечивающий факультет	ФЭА
Обеспечивающая кафедра	КСУ
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

«ТЕОРИЯ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ»

Дисциплина Теория оптимального управления включает изложение методических приемов по практическому решению поисковых задач оптимизации, синтезу оптимальных регуляторов для линейных и нелинейных автоматических систем.

В ходе изучения дисциплины рассматриваются вопросы, связанные с постановкой задачи оптимизации, выбором критерия оптимальности, основными методами принятия решений в условиях неопределенности. Рассматриваются алгоритмы решения типовых задач оптимизации, основные методы синтеза оптимальных законов управления для линейных систем.

SUBJECT SUMMARY

«OPTIMAL CONTROL THEORY»

Discipline Optimal Control Theory includes presentation of instructional techniques for practical solution of search optimization problems, synthesis of optimal controllers for linear and nonlinear automatic systems.

In the course of studying the discipline considers the questions related to the holds-tion of the optimization problem, the choice of optimality criterion, the basic methods of decision-making in conditions of uncertainty. The algorithms of solving typical optimization problems, the basic methods of synthesis of optimal control laws for linear systems.

3 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

3.1 Цели и задачи дисциплины

1. Изучение основных методов и получение знаний по алгоритмам решений типовых оптимизационных задач.
2. Формирование умений поисковой оптимизации и аналитического проектирования оптимальных систем управления.
3. Освоение знаний и практических навыков применения пакетов прикладных программ в среде MATLAB.

3.2 Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина изучается на основе ранее освоенных дисциплин учебного плана:

1. «Теория автоматического управления»
2. «Программирование и основы алгоритмизации»

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>
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	Введение	1			1
2	Тема 1. Основные задачи построения оптимальных систем	2			5
3	Тема 2. Математическая формулировка задачи оптимизации	2			5
4	Тема 3. Многошаговые методы поиска экстремума функции одной переменной	3	2		6
5	Тема 4. Поиск экстремума функции нескольких переменных	3	8		6
6	Тема 5. Методы решения оптимизационных задач в условиях неполной априорной информации	3			6
7	Тема 6. Векторная оптимизация	3			6
8	Тема 7. Оптимальные системы управления	2			5
9	Заключение	1		1	1
	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	Введение	Цели и задачи дисциплины. Связь с другими дисциплинами. Обзор литературы по дисциплине.
2	Тема 1. Основные задачи построения оптимальных систем	Историческая справка и примеры классических задач оптимизации. Современное состояние теории операций. Краткий обзор задач оптимизации и классификация методов их решения. Специфика оптимизационных задач на стадиях исследования, проектирования и эксплуатации технических систем.
3	Тема 2. Математическая формулировка задачи оптимизации	Выбор оптимизируемых параметров. Формирование критерия оптимальности. Векторные и обобщенные критерии. Экстремум, необходимые и достаточные условия его существования. Выпуклые функции. Унимодальность. Нормирование показателей и параметров. Условный и безусловный экстремум.

№ п/п	Наименование темы дисциплины	Содержание
4	Тема 3. Многошаговые методы поиска экстремума функции одной переменной	Пассивные и активные стратегии сокращения интервала неопределенности. Сравнительный анализ методов разбиения интервала неопределенности. Методы золотого сечения и дихотомии.
5	Тема 4. Поиск экстремума функции нескольких переменных	Методы условной и безусловной оптимизации. Градиентные методы, метод Ньютона, симплексные методы. Метод множителей Лагранжа. Методы случайного поиска. Методы решения многоэкстремальных и неодносвязных задач.
6	Тема 5. Методы решения оптимизационных задач в условиях неполной априорной информации	Выбор предпочтительного варианта решения. Вероятностные, минимаксные, взвешенные методы принятия решений. Выбор оптимальных значений параметров управления.
7	Тема 6. Векторная оптимизация	Постановка задачи. Метод главного показателя. Методы гибкого приоритета. Методы определения весовых множителей. Выбор оптимальных значений параметров управления.
8	Тема 7. Оптимальные системы управления	Постановка задачи оптимального управления. Критерии оптимизации. Функционал, экстремум функционала, необходимые и достаточные условия. Принцип оптимальности Р. Беллмана. Метод динамического программирования. Синтез оптимальных систем на основе вариационного исчисления. Метод Лагранжа. Принцип оптимальности. Оптимальное управление непрерывными системами. Принцип максимума Л.С.Понтрягина. Основная теорема принципа максимума. Синтез систем оптимальных по быстродействию. Оптимальная линейная система. Регулятор состояния. Связь между вариационным исчислением, принципом максимума и динамическим программированием.
9	Заключение	Тенденции развития дисциплины. Характеристика остаточных знаний по дисциплине. Примеры практических задач по дисциплине.

4.2 Перечень лабораторных работ

Наименование лабораторной работы	Количество ауд. часов
1. Оптимизация системы автоматического управления градиентным методом	1
2. Оптимизация системы автоматического управления методом Гаусса–Зайделя	1
3. Оптимизация системы автоматического управления ПСМ с постоянным размером симплекса	1
4. Оптимизация системы автоматического управления ПСМ с переменным шагом	2

Наименование лабораторной работы	Количество ауд. часов
5. Оптимизация системы автоматического управления методом деформированного многогранника	2
6. Оптимизация системы автоматического управления комплекс-методом	2
7. Сравнительный анализ изученных методов оптимизации	1
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 ин-

формационными 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	21
Опережающая самостоятельная работа (изучение нового материала до его изложения на занятиях)	0
Самостоятельное изучение разделов дисциплины	0
Выполнение домашних заданий, домашних контрольных работ	0
Подготовка к лабораторным работам, к практическим и семинарским занятиям	0
Подготовка к контрольным работам, коллоквиумам	20
Выполнение расчетно-графических работ	0
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	
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	Зуев, Владимир Александрович. Теория оптимального управления [Электронный ресурс] : учеб. пособие для вузов по направлению 220200 "Автоматизация и управление" / В.А. Зуев, А.С. Ветчинкин, Ю.А. Лукомский, 2011. -1 эл. опт. диск (CD-ROM)	неогр.
2	Теория оптимального управления [Электронный ресурс] : метод. указания к лаб. работам / Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет им. В.И. Ульянова (Ленина) "ЛЭТИ", 2008. -1 эл. опт. диск (CD-ROM)	неогр.
Дополнительная литература		
1	Лукомский, Юрий Александрович. Навигация и управление движением судов [Текст] : [Учеб. для вузов] в обл. радиотехники, электроники, биомед. техники и автоматизации / Ю.А.Лукомский, В.Г.Пешехонов, Д.А.Скорыходов, 2002. -360 с.	35

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

№ п/п	Электронный адрес
1	http:// www.mathworks.com
2	http://matlab.exponenta.ru/

5.3 Адрес сайта курса

Адрес сайта курса: <https://vec.etu.ru/moodle/course/view.php?id=6000>

6 Критерии оценивания и оценочные материалы

6.1 Критерии оценивания

Для дисциплины «Теория оптимального управления» формой промежуточной аттестации является дифф. зачет. Оценивание качества освоения дисциплины производится с использованием рейтинговой системы.

Дифференцированный зачет

Оценка	Количество баллов	Описание
Неудовлетворительно	0 – 51	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	52 – 67	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	68 – 84	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	85 – 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

В процессе обучения по дисциплине «Теория оптимального управления» студент обязан выполнить 7 лабораторных и 2 контрольные работы.

По результатам выполнения контрольных работ, проводимых на лабораторных занятиях, студент получает оценки, формирующие итоговую оценку промежуточной аттестации, при условии успешного прохождения текущего контроля на лабораторных занятиях.

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

Вариант теста

1. Определение оптимального управляющего воздействия по критерию экономии управления для объекта управления, заданного системой уравнений в форме Коши. Пример.
2. Определение оптимального управляющего воздействия по критерию экономии управления для объекта управления, заданного дифференциальным уравнением 2-го порядка. Пример.
3. Определение оптимального управляющего воздействия по критерию экономии управления для объекта управления, заданного структурной схемой. Пример.
4. Определение оптимального управляющего воздействия по интегральному квадратичному критерию для объекта управления, заданного системой уравнений в форме Коши. Пример.
5. Определение оптимального управляющего воздействия по интегральному квадратичному критерию для объекта управления, заданного дифференциальным уравнением 2-го порядка. Пример.

Образцы задач (заданий) для контрольных (проверочных) работ

1. Поиск экстремума при наличии несвязанных областей оптимизации.
2. Методы одномерного поиска.
3. Градиентные методы оптимизации.
4. Последовательный симплексный метод с постоянным шагом.
5. Последовательный симплексный метод с постоянным шагом.
6. Последовательный симплексный метод с переменным шагом.
7. Метод Нелдера-Мида.
8. Методы поиска экстремума в многоэкстремальных задачах.
9. Метод скользящего допуща.
10. Методы экспертных оценок. Метод ранга

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
3	Тема 3. Многошаговые методы поиска экстремума функции одной переменной	Коллоквиум
5	Тема 3. Многошаговые методы поиска экстремума функции одной переменной	Контрольная работа
8	Тема 4. Поиск экстремума функции нескольких переменных	Коллоквиум
9	Тема 4. Поиск экстремума функции нескольких переменных	Контрольная работа

6.4 Методика текущего контроля

на лекционных занятиях

Текущий контроль включает в себя контроль посещаемости (не менее 80 % занятий), по результатам которого студент получает допуск к дифференцированному зачету.

на лабораторных занятиях

- Порядок выполнения лабораторных работ, подготовки отчетов и их защиты, а также порядок написания контрольных работ.

В процессе обучения по дисциплине «Теория оптимального управления» студент обязан выполнить 7 лабораторных и 2 контрольные работы. Под выполнением лабораторных работ подразумевается подготовка к работе, проведение исследований, подготовка отчета и его защита на коллоквиуме. После нескольких лабораторных работ предусматривается проведение коллоквиумов на 3 и 8 неделях, на которых осуществляется защита лабораторных работ. Контрольные работы проводятся на 5 и 9 неделях.

Выполнение лабораторных работ студентами осуществляется индивидуально (или в бригадах по два-три человека). Оформление отчета студентами осуществляется по бригадам в соответствии с принятыми в СПбГЭТУ правилами оформления студенческих работ. Отчет оформляется после выполнения исследований и представляется преподавателю на проверку. После проверки

отчет либо возвращается (при наличии замечаний) на доработку, либо подписывается к защите.

Выполнение контрольных работ студентами осуществляется индивидуально.

Лабораторные работы защищаются студентами индивидуально. Каждый студент получает вопрос по теоретической части или по процедуре проведения исследований, или по последующей обработке результатов, после чего ему предоставляется время для подготовки ответа. При обсуждении ответа преподаватель может задать несколько уточняющих вопросов. В случае если студент демонстрирует достаточное знание вопроса, работа считается защищенной.

На защите лабораторной работы студент должен показать: понимание методики исследования и знание особенностей её применения, понимание и умение объяснять особенности применяемых методов, возможные области их применения и т.д., умение давать качественную и количественную оценку полученных результатов и прогнозировать реакции исследуемого объекта на различные воздействия, навыки и умения, приобретенные при выполнении лабораторной работы.

Примеры контрольных вопросов приведены в оценочных материалах.

Текущий контроль включает в себя выполнение, сдачу в срок отчетов и их защиту по всем лабораторным работам, а также написание 2 контрольных работ, по результатам выполнения которых студент получает допуск к дифференцированному зачету.

самостоятельной работы студентов

Контроль самостоятельной работы студентов осуществляется на лекционных и лабораторных занятиях студентов по методикам, описанным выше.

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, маркерная доска, ноутбук, проектор, экран	1) Windows XP и выше; 2) Microsoft Office 2007 и выше
Лабораторные работы	Лаборатория	Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя, интерактивная доска, проектор, экран, компьютерный класс	1) Windows XP и выше; 2) Matlab 6.5 и 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

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