

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ЛУГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ ВЛАДИМИРА ДАЛЯ»

Факультет компьютерных систем и информационных технологий
Кафедра прикладной математики

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета компьютерных
систем и информационных технологий

Кочевский А. А.

2023 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

«Теория оптимального управления»

по направлению подготовки 01.04.02 Прикладная математика и информатика
магистерская программа «Математическое моделирование сложных систем»

Луганск – 2023

Лист согласования РПУД

Рабочая программа учебной дисциплины «Теория оптимального управления» по направлению подготовки 01.04.02 Прикладная математика и информатика. – 11 с.

Рабочая программа учебной дисциплины «Теория оптимального управления» составлена на основе федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 01.04.02 Прикладная математика и информатика, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 10 января 2018 года № 13 (с изменениями и дополнениями), зарегистрированного в Министерстве юстиции Российской Федерации 06 февраля 2018 года за № 49939, учебного плана по направлению подготовки 01.04.02 Прикладная математика и информатика, (магистерская программа «Математическое моделирование сложных систем») и Положения о рабочей программе учебной дисциплины в ФГБОУ ВО «ЛГУ им. В. Даля».

СОСТАВИТЕЛЬ

канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры прикладной математики Малы́й В. В.

Рабочая программа дисциплины утверждена на заседании кафедры прикладной математики

18 апреля 2023 г., протокол № 10

Заведующий кафедрой прикладной математики _____ Малы́й В. В.

Переутверждена: «__» _____ 20__ г., протокол № _____

Согласована:

Декан факультета компьютерных систем и информационных технологий _____ Кочевский А. А.

Рекомендована на заседании учебно-методической комиссии факультета компьютерных систем и информационных технологий

19 апреля 2023 г., протокол № 8

Председатель учебно-методической комиссии факультета компьютерных систем и информационных технологий _____ Ветрова Н. Н.

© Малы́й В. В., 2023 год

© ФГБОУ ВО «ЛГУ им. В. Даля», 2023 год

Структура и содержание дисциплины

1. Цели и задачи дисциплины, ее место в учебном процессе

Цель изучения дисциплины – формирование у студентов знаний и навыков работы по созданию и исследованию математических моделей в виде дифференциальных уравнений в частных производных, допускающих гладкие решения.

Задачи: формирование базовых знаний в области оптимального управления сложными динамическими системами; приобретение навыков постановки задач оптимизации, возникающих в математической физике; овладение аналитическими и численными методами решения прикладных задач оптимизации сложных систем.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Дисциплина «Теория оптимального управления» входит в блок дисциплин обязательной части учебного плана.

Содержание дисциплины является логическим продолжением содержания дисциплин: «Алгебра и геометрия», «Математический анализ», «Дифференциальные уравнения», «Операционное исчисления», «Краевые задачи и вариационное исчисление», «Уравнения математической физики» и служит основой для освоения дисциплин: используется при подготовке магистерской диссертации.

3. Требования к результатам освоения содержания дисциплины

Студенты, завершившие изучение дисциплины «Теория оптимального управления», должны

знать: методы постановки задач управления динамическими системами; основные понятия теории оптимального управления; методы исследования динамических характеристик систем управления; преобразования Лапласа; преобразования Фурье для исследования частотных характеристик; методы исследования устойчивости систем управления; метод классического аппарата вариационного исчисления; принципа максимума (минимума) Л.С. Понтрягина; метода динамического программирования Р. Беллмана;

уметь: использовать преобразования Лапласа и преобразования Фурье для исследования динамических характеристик систем управления; исследовать наблюдаемость и управляемость систем; применять методы классического и неклассического вариационных методов к синтезу оптимального управления; применять математические пакеты для визуализации динамики систем управления; использовать информационные системы для пополнения и уточнения математических знаний;

владеть навыками: математическими понятиями и символами для выражения количественных и качественных отношений, методами теории управления и алгоритмами в приложениях к техническим наукам.

Перечисленные результаты образования являются основой для формирования следующих компетенций (в соответствии с ФГОС ВО и

требованиями к результатам освоения основной профессиональной образовательной программы (ОПОП ВО):

обще профессиональных:

ОПК-1 способен решать актуальные задачи фундаментальной и прикладной математики

4. Структура и содержание дисциплины

4.1. Объем учебной дисциплины и виды учебной работы

Вид учебной работы	Объем часов (з.е.)		
	Очная форма	Очно-заочная форма	Заочная форма
Объем учебной дисциплины (всего)	144 (4 з.е.)	144 (4 з.е.)	-
Обязательная аудиторная учебная нагрузка дисциплины (всего) в том числе:	64	32	-
Лекции	32	16	-
Семинарские занятия	-	-	-
Практические занятия	32	16	-
Лабораторные работы	-	-	-
Курсовая работа (курсовой проект)	-	-	-
Индивидуальное задание	18	18	-
Самостоятельная работа студента (всего)	80	112	-
Форма аттестации	экзамен	экзамен	-

4.2. Содержание разделов дисциплины

Тема 1. Постановка задачи. Динамические характеристики линейных систем управления

Постановка задачи об управлении. Примеры систем управления. Системы управления и их математические модели. Принципы управления. Временные характеристики линейных одномерных систем. Преобразование Лапласа. Передаточная функция. Преобразование Фурье. Частотные характеристики. Характеристики систем при различных соединениях звеньев. Характеристики линейных многомерных систем. Формула Коши.

Тема 2. Устойчивость линейных систем управления

Постановка задачи устойчивости по Ляпунову. Условия устойчивости линейных систем управления. Алгебраические критерии устойчивости. Частотные критерии устойчивости. Второй метод Ляпунова.

Тема 3. Управляемость и наблюдаемость в линейных системах

Задача об управляемости систем. Теоретические основы управляемости и наблюдаемости. Критерий управляемости. Критерий наблюдаемости в линейных системах управления. Двойственность задач управляемости и наблюдаемости.

- Тема 4. Вариационное исчисление в теории оптимального управления
Задача оптимального управления как вариационная задача. Необходимые и достаточные условия экстремума функционала. Уравнение Эйлера. Каноническая форма уравнений Эйлера-Лагранжа. Критерий Лежандра.
- Тема 5. Принцип максимума Понтрягина
Особенности вывода принципа максимума. Теорема принципа максимума. Линейная система оптимального быстродействия. Методы синтеза оптимального управления. Примеры построения оптимального управления
- Тема 6. Метод динамического программирования
Принцип оптимальности Беллмана. Многошаговая задача оптимизации. Функциональное уравнение Беллмана. Дифференциальное уравнение Беллмана. Взаимосвязь методов оптимального управления. Реализация методов оптимального управления на компьютерах с применением программных систем типа GNU Octave.

4.3. Лекции

№ п/п	Название темы	Объем часов		
		Очная форма	Очно-заочная форма	Заочная форма
Тема 1.	Постановка задачи. Динамические характеристики линейных систем управления	6	4	-
Тема 2.	Устойчивость линейных систем управления	4	2	-
Тема 3.	Управляемость и наблюдаемость в линейных системах	4	2	-
Тема 4.	Вариационное исчисление в теории оптимального управления	6	2	-
Тема 5.	Принцип максимума Понтрягина	6	2	-
Тема 6.	Метод динамического программирования	6	4	-
Итого:		32	16	-

4.4. Практические (семинарские) занятия

№ п/п	Название темы	Объем часов		
		Очная форма	Очно-заочная форма	Заочная форма
Тема 1.	Постановка задачи. Динамические характеристики линейных систем управления	6	4	-
Тема 2.	Устойчивость линейных систем управления	4	2	-
Тема 3.	Управляемость и наблюдаемость в линейных системах	4	2	-
Тема 4.	Вариационное исчисление в теории оптимального управления	6	2	-
Тема 5.	Принцип максимума Понтрягина	6	2	-
Тема 6.	Метод динамического программирования	6	4	-

Итого:	32	16	-
--------	----	----	---

4.5. Лабораторные работы

Не предусмотрены

4.6. Самостоятельная работа студентов

№ п/п	Название темы	Вид СРС	Объем часов		
			Очная форма	Очно-заочная форма	Заочная форма
Тема 1.	Постановка задачи. Динамические характеристики линейных систем управления	подготовка к контрольной работе; выполнение индивидуального задания; подготовка к экзамену	14	18	-
Тема 2.	Устойчивость линейных систем управления	подготовка к контрольной работе; выполнение индивидуального задания; подготовка к экзамену	12	18	-
Тема 3.	Управляемость и наблюдаемость в линейных системах	подготовка к контрольной работе; выполнение индивидуального задания; подготовка к экзамену	12	18	-
Тема 4.	Вариационное исчисление в теории оптимального управления	подготовка к контрольной работе; выполнение индивидуального задания; подготовка к экзамену	12	18	-
Тема 5.	Принцип максимума Понтрягина	подготовка к контрольной работе; выполнение индивидуального задания; подготовка к экзамену	14	18	-
Тема 6.	Метод динамического программирования	подготовка к контрольной работе; выполнение индивидуального задания; подготовка к экзамену	14	22	-
Итого:			80	112	-

4.7. Курсовые работы/проекты

Курсовые работы (проекты) не предусмотрены.

5. Образовательные технологии

Преподавание дисциплины ведется с применением следующих видов образовательных технологий:

– традиционные объяснительно-иллюстративные технологии, которые обеспечивают доступность учебного материала для большинства студентов, системность, отработанность организационных форм и привычных методов, относительно малые затраты времени;

– технологии проблемного обучения, направленные на развитие познавательной активности, творческой самостоятельности студентов и предполагающие последовательное и целенаправленное выдвижение перед студентом познавательных задач, разрешение которых позволяет студентам

активно усваивать знания (используются поисковые методы; постановка познавательных задач);

- технологии развивающего обучения, позволяющие ориентировать учебный процесс на потенциальные возможности студентов, их реализацию и развитие;

- технологии концентрированного обучения, суть которых состоит в создании максимально близкой к естественным психологическим особенностям человеческого восприятия структуры учебного процесса и которые дают возможность глубокого и системного изучения содержания учебных дисциплин за счет объединения занятий в тематические блоки;

- технологии модульного обучения, дающие возможность обеспечения гибкости процесса обучения, адаптации его к индивидуальным потребностям и особенностям обучающихся (применяются, как правило, при самостоятельном обучении студентов по индивидуальному учебному плану);

- технологии дифференцированного обучения, обеспечивающие возможность создания оптимальных условий для развития интересов и способностей студентов, в том числе и студентов с особыми образовательными потребностями, что позволяет реализовать в культурно-образовательном пространстве университета идею создания равных возможностей для получения образования

- технологии активного (контекстного) обучения, с помощью которых осуществляется моделирование предметного, проблемного и социального содержания будущей профессиональной деятельности студентов (используются активные и интерактивные методы обучения) и т.д.

Максимальная эффективность педагогического процесса достигается путем конструирования оптимального комплекса педагогических технологий и (или) их элементов на личностно-ориентированной, деятельностной, диалогической основе и использования необходимых современных средств обучения.

6. Формы контроля освоения дисциплины

Текущая аттестация студентов производится в дискретные временные интервалы лектором или преподавателем, ведущим практические занятия по дисциплине, в следующих формах:

- фронтальные и индивидуальные опросы;
- контрольные работы;
- защита индивидуальных заданий.

Фонды оценочных средств, включающие типовые индивидуальные задания, контрольные работы, позволяющие оценить результаты текущей и промежуточной аттестации обучающихся по данной дисциплине, помещаются в приложении к рабочей программе в соответствии с «Положением о фонде оценочных средств».

Промежуточная аттестация по результатам освоения дисциплины проходит в форме письменного экзамена, включающего теоретические вопросы и практические задания. В случае неполного, спорного или

некорректного выполнения задания письменного экзамена, допускается уточняющий устный опрос студента, на основании которого возможна корректировка оценки результатов промежуточной аттестации. Допуск к промежуточной аттестации производится на основании положительных результатов по всем формам текущего контроля.

В экзаменационную ведомость и зачетную книжку выставляются оценки по шкале, приведенной в таблице.

Шкала оценивания	Характеристика знания предмета и ответов
отлично (5)	Студент глубоко и в полном объеме владеет программным материалом. Грамотно, исчерпывающе и логично его излагает в устной или письменной форме. При этом знает рекомендованную литературу, проявляет творческий подход в ответах на вопросы и правильно обосновывает принятые решения, хорошо владеет умениями и навыками при выполнении практических задач.
хорошо (4)	Студент знает программный материал, грамотно и по сути излагает его в устной или письменной форме, допуская незначительные неточности в утверждениях, трактовках, определениях и категориях или незначительное количество ошибок. При этом владеет необходимыми умениями и навыками при выполнении практических задач.
удовлетворительно (3)	Студент знает только основной программный материал, допускает неточности, недостаточно четкие формулировки, непоследовательность в ответах, излагаемых в устной или письменной форме. При этом недостаточно владеет умениями и навыками при выполнении практических задач. Допускает до 30% ошибок в излагаемых ответах.
неудовлетворительно (2)	Студент не знает значительной части программного материала. При этом допускает принципиальные ошибки в доказательствах, в трактовке понятий и категорий, проявляет низкую культуру знаний, не владеет основными умениями и навыками при выполнении практических задач. Студент отказывается от ответов на дополнительные вопросы.

7. Учебно-методическое и программно-информационное обеспечение дисциплины:

а) основная литература:

Алексеев В.М., Оптимальное управление / Алексеев В.М., Тихомиров В.М., Фомин С.В. - 3-е изд., испр. и доп. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2011. - 408 с. - ISBN 978-5-9221-0589-7 - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785922105897.html> (дата обращения: 02.09.2022). - Режим доступа : по подписке.

Деменков Н.П., Управление в технических системах : учебник / Н.П. Деменков, Е.А. Микрин - М. : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017. - 452 с. - ISBN 978-5-7038-4661-2 - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785703846612.html> (дата обращения: 02.09.2022). - Режим доступа : по подписке.

Подчукаев В.А., Теория автоматического управления (аналитические методы) : Учеб. для вузов / Подчукаев В.А. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2005. - 392 с. - ISBN 5-9221-0445-4 - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5922104454.html> (дата обращения: 02.09.2022). - Режим доступа : по подписке.

б) дополнительная литература:

Александров В.В., Оптимальное управление движением / В. В. Александров, В. Г. Болтянский, С. С. Лемак, Н.А. Парусников, В. М. Тихомиров. - М. : ФИЗМАТЛИТ, 2005. - 376 с. - ISBN 5-9221-0401-2 - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN5922104012.html> (дата обращения: 02.09.2022). - Режим доступа : по подписке.

Ерофеев А. А. Теория автоматического управления [Текст] : учебник / А. А. Ерофеев. - 2-е изд., доп. и перераб. - СПб. : Политехника, 2003. - 302 с

Зубов В. И. Лекции по теории управления [Текст] / В. И. Зубов. - М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. литературы, 1975. - 495 с.

Истомин Л. Ф. Современная теория управления [Текст] : учеб. пособие / Л. Ф. Истомин, С. К. Рамазанов. - Луганск : МЧП "Престиж-Сервис", 2004. - 260 с.

Попов Е. П. Теория линейных систем автоматического регулирования и управления [Текст] : учеб. пособие для вузов / Е. П. Попов. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : "Наука" Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. - 304 с.

Ульшин В. А. Теория автоматического управления [Текст] : учеб. пособие / В. А. Ульшин, И. Н. Евстигнеев. - Луганск : Изд-во ВГУ им. В. Даля, 2002. - 147 с.

Янг Л. Лекции по вариационному исчислению и теории оптимального управления [Текст] / Л. Янг ; пер. с англ. М. Г. Элуашвили; под ред. В. М. Алексеева. - М. : Мир, 1974. - 488 с.

в) методические указания:

Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Теория управления»/ Сост. Нефёдов Ю.М. – Луганск: 2017. – 46 с.

Нефедов Ю. М. Теория управления [Электронный ресурс] : учебное пособие / Ю. М. Нефедов. - Луганск : ЛГУ им. В. Даля, 2019. - 221 с.

г) Интернет-ресурсы:

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации – <https://minobrnauki.gov.ru/>

Федеральная служба по надзору в сфере образования и науки – <http://obrnadzor.gov.ru/>

Портал Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования – <http://fgosvo.ru>

Федеральный портал «Российское образование» – <http://www.edu.ru/>

Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» – <http://window.edu.ru/>

Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов – <http://fcior.edu.ru/>

Электронные библиотечные системы и ресурсы

Электронно-библиотечная система «Консультант студента» – <http://www.studentlibrary.ru/cgi-bin/mb4x>

Информационный ресурс библиотеки образовательной организации

Научная библиотека имени А. Н. Коняева – <http://biblio.dahluniver.ru/>

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Освоение дисциплины предполагает использование академических аудиторий, соответствующих действующим санитарным и противопожарным правилам и нормам.

Прочее: рабочее место преподавателя, оснащенное компьютером с доступом в Интернет.

Программное обеспечение:

Функциональное назначение	Бесплатное программное обеспечение	Ссылки
Офисный пакет	Libre Office 6.3.1	https://www.libreoffice.org/ https://ru.wikipedia.org/wiki/LibreOffice
Операционная система	UBUNTU 19.04	https://ubuntu.com/ https://ru.wikipedia.org/wiki/Ubuntu
Браузер	Firefox Mozilla	http://www.mozilla.org/ru/firefox/fx
Браузер	Opera	http://www.opera.com
Почтовый клиент	Mozilla Thunderbird	http://www.mozilla.org/ru/thunderbird
Файл-менеджер	Far Manager	http://www.farmanager.com/download.php
Архиватор	7Zip	http://www.7-zip.org/
Графический редактор	GIMP (GNU Image Manipulation Program)	http://www.gimp.org/ http://gimp.ru/viewpage.php?page_id=8 http://ru.wikipedia.org/wiki/GIMP
Редактор PDF	PDFCreator	http://www.pdfforge.org/pdfcreator
Аудиоплеер	VLC	http://www.videolan.org/vlc/