

МИНОБРНАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Институт прикладной математики и компьютерных наук

УТВЕРЖДАЮ

Директор института прикладной
математики и компьютерных наук

А.В. Замятин

« 11 »  2021 г.



Теория оптимального управления

рабочая программа дисциплины

Закреплена за кафедрой	<i>Прикладной математики</i>
Учебный план	<i>02.03.02 Фундаментальная информатика и информационные технологии</i> <i>Направленность (профиль) «Искусственный интеллект и разработка программных продуктов»</i>
Форма обучения	<i>очная</i>
Общая трудоёмкость	<i>4 з.е.</i>
Часов по учебному плану	<i>144</i>
в том числе:	
аудиторная контактная работа	<i>88.3</i>
самостоятельная работа	<i>55.7</i>
Вид(ы) контроля в семестрах	
<i>экзамен/зачет/зачет с оценкой</i>	<i>6 семестр – экзамен</i>

Программу составила:
д-р техн. наук, профессор,
профессор кафедры прикладной математики



К.И. Лившиц

Рецензент:
д-р физ.-мат. наук, профессор,
профессор кафедры прикладной математики



А.Г.Дмитренко

Рабочая программа дисциплины «Теория оптимального управления» разработана в соответствии с образовательным стандартом высшего образования – бакалавриат, самостоятельно устанавливаемым федеральным государственным автономным образовательным учреждением высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» по направлению подготовки 02.03.02 Фундаментальная информатика и информационные технологии (Утвержден Ученым советом НИ ТГУ, протокол от 27.10.2021 г. № 08).

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры прикладной математики

Протокол от 26 мая 2021 г. № 04

заведующий кафедрой прикладной математики,
д-р техн. наук, профессор



А. М. Горцев

Рабочая программа одобрена на заседании учебно-методической комиссии института прикладной математики и компьютерных наук (УМК ИПМКН)

Протокол от 17 июня 2021 г. № 05

Председатель УМК ИПМКН,
д-р техн. наук, профессор



С.П. Сущенко

Цель освоения дисциплины

Цель – привить навыки работы с учебной литературой по теории оптимального управления, обучить студентов основным понятиям теории оптимального управления, уметь решать типовые задачи, уметь пользоваться методами теории оптимального управления при решении практических задач и исследовании математических моделей технических и социально-экономических систем с целью их оптимизации.

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Теория оптимального управления» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений Блока 1 «Дисциплины», входит в модуль «Введение в прикладную математику и информатику».

Пререквизиты дисциплины: «Математический анализ», «Алгебра и геометрия», «Дифференциальные и разностные уравнения», «Теория вероятностей», «Случайные процессы», «Математическая статистика»

Постреквизиты дисциплины: «Преддипломная практика», «Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы».

2. Компетенции и результаты обучения, формируемые в результате освоения дисциплины

Таблица 1.

Компетенция	Индикатор компетенции	Код и наименование результатов обучения (планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций)
ПК-2. Способен проектировать базы данных, разрабатывать компоненты программных систем, обеспечивающих работу с базами данных, с помощью современных инструментальных средств и технологий	ИПК-2.2 Готов осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, представлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий	Обучающийся сможет: ОР-2.2.1. Сформулировать совокупность взаимосвязанных задач в рамках поставленной цели работы, обеспечивающих ее достижение. Определить ожидаемые результаты решения поставленных задач; ОР-2.2.2. Спроектировать решение конкретной задачи проекта, выбирая оптимальный способ ее решения, исходя из действующих правовых норм и имеющихся ресурсов и ограничений; применить аппарат теории оптимального управления для обработки статистических, экспериментальных и иных данных для построения математических моделей, расчетов и конкретных практических выводов; ОР-2.2.3. Получить решение конкретной задачи проекта, выбирая оптимальный способ ее решения, исходя из действующих правовых норм и имеющихся ресурсов и ограничений; применить аппарат теории оптимального управления для построения и анализа математических моделей реальных процессов, объектов и систем в своей предметной области; ОР-2.2.4. Находить в учебной литературе по теории оптимального управления необходимую информацию относительно

		<p>темы исследований; критически оценивать найденную информацию;</p> <p>ОР-2.2.5. Выполнить стандартные действия, решить типовые задачи с учетом основных понятий и общих закономерностей, формулируемых в рамках базовых математических и естественнонаучных дисциплин; критически переосмысливать накопленный опыт, модифицировать при необходимости вид и характер разрабатываемой математической модели с использованием аппарата теории оптимального управления;</p> <p>ОР-2.2.6. Использовать основные понятия, концепции, принципы теории оптимального управления для решения практических задач, связанных с прикладной математикой и информатикой; определять необходимость применения тех или иных математических моделей и компьютерных технологий для решения поставленной задачи; применять на практике необходимые математические модели и компьютерные технологии для решения практических задач, возникающих в профессиональной деятельности;</p>
--	--	---

3. Структура и содержание дисциплины

3.1. Структура и трудоемкость видов учебной работы по дисциплине

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 часа.

Таблица 2.

Вид учебной работы	Трудоемкость в академических часах	
	6 семестр	всего
Общая трудоемкость	144	144
Контактная работа:	88.3	88.3
Лекции (Л):	64	64
Лабораторные работы (ЛР)	16	16
Групповые консультации	3	3
Индивидуальные консультации	3	3
Промежуточная аттестация	2.3	2.3
Самостоятельная работа обучающегося:	55.7	55.7
- изучение учебного материала, публикаций	8	8
- подготовка к лабораторным работам/коллоквиумам	16	16
- подготовка к рубежному контролю по теме/разделу	31.7	31.7
Вид промежуточной аттестации	Экзамен	Экзамен

3.2. Содержание и трудоемкость разделов дисциплины

Таблица 3.

Код занятия	Наименование разделов и тем и их содержание	Вид учебной работы, занятий, контроля	С е м е с т р	Часы в электронной форме	Всего (час.)	Литература	Код (ы) результата(ов) обучения
	Раздел 1. Введение		6			№1, №9, №10	ОР-2.2.1, ОР-2.2.2, ОР-2.2.3, ОР-2.2.4, ОР-2.2.5, ОР-2.2.6
1.1.	Математическая модель объекта. Критерии оптимальности. Допустимые управления. Дополнительные условия. Формулировка задачи оптимального управления. Примеры постановки задач оптимального управления. Задача оптимального управления производством, хранением и сбытом товара. Оптимальное управление односекторной экономикой на конечном интервале времени. Динамическая модель рекламы в задаче страхования	Л	6		8		
	Изучение учебного материала по теме	СРС	6		2		
	Раздел 2. Общая теория линейных систем управления		6			№1, №2, №3, №7	ОР-2.2.1, ОР-2.2.2, ОР-2.2.3, ОР-2.2.4, ОР-2.2.5, ОР-2.2.6
2.1.	Переходная матрица, ее свойства и методы построения. Ряд Пеано. Спектральное представление переходной матрицы. Представление в виде суммы степеней матрицы. Критерии устойчивости линейных систем: спектральный критерий, критерий Рауса-Гурвица, критерий Ляпунова. Свойства уравнения Ляпунова. Исследование колебательного контура. Анализ линейных дискретных систем. Критерии устойчивости: спектральный критерий устойчивости, критерий Ляпунова. Поведение линейных систем при внешних возмущениях. Передаточная матрица. Постоянное управление. Задача слежения	Л	6		8		
	Изучение учебного материала по теме. Подготовка к выполнению лабораторных работ	СРС	6		2		
2.2	Знакомство с пакетом «Управление»	ЛР	6		2		
	Изучение учебного материала по теме. Подготовка к выполнению лабораторных работ	СРС	6		2		
2.3.	Устойчивость непрерывных и дискретных систем	ЛР	6		2		
	Раздел 3. Управляемость и наблюдаемость		6			№1, №7	ОР-2.2.1, ОР-2.2.2, ОР-2.2.3, ОР-2.2.4, ОР-2.2.5, ОР-2.2.6
3.1.	Критерии управляемости. Критерии наблюдаемости. Общая декомпозиция	Л	6		8		

	линейной системы по Калману.					
	Изучение учебного материала по теме	СРС	6		2	
	Раздел 4. Синтез регуляторов и наблюдателей		6			№1, №7, №4, №5, №13 ОП-2.2.1, ОП-2.2.2, ОП-2.2.3, ОП-2.2.4, ОП-2.2.5, ОП-2.2.6
4.1.	Синтез регуляторов и наблюдателей. Общий принцип регулируемости. Метод АКОР для непрерывных систем. Метод АКОР для дискретных систем. Модальное управление. Вычисление матрицы регулятора. Выбор заданного спектра. Синтез полных наблюдателей. Наблюдатель Луенбергера. Фильтр Калмана для непрерывных систем. Фильтр Калмана для дискретных систем.	Л	6		8	
	Изучение учебного материала по теме. Подготовка к выполнению лабораторных работ	СРС	6		2	
4.2.	Аналитическое конструирование оптимальных регуляторов	ЛР	6		2	
	Изучение учебного материала по теме. Подготовка к выполнению лабораторных работ	СРС	6		2	
4.3.	Модальное управление	ЛР	6		2	
	Изучение учебного материала по теме. Подготовка к выполнению лабораторных работ	СРС	6		2	
4.4.	Динамический наблюдатель	ЛР	6		2	
	Изучение учебного материала по теме. Подготовка к выполнению лабораторных работ	СРС	6		2	
4.5.	Фильтр Калмана для дискретных систем	ЛР	6		2	
	Изучение учебного материала по теме. Подготовка к выполнению лабораторных работ	СРС	6		2	
4.6.	Фильтр Калмана для непрерывных систем	ЛР	6		2	
	Раздел 5. Вариационное исчисление		6			№1, №2, №10 ОП-2.2.1, ОП-2.2.2, ОП-2.2.3, ОП-2.2.4, ОП-2.2.5, ОП-2.2.6
5.1.	Вариационное исчисление. Содержание метода. Вариация функционала. Функция Гамильтона. Уравнение Эйлера-Лагранжа. Задача Больца. Примеры. Задачи с ограничениями на правый конец траектории. Задача с произвольным временем и без ограничений на правый конец траектории. Задача с ограничениями общего вида. Примеры	Л	6		8	
5.2.	Исследование второй вариации функционала. Квадратические функционалы. Достаточные условия положительности второй вариации. Условие Лежандра-Клебша. Второе достаточное условие положительной определенности второй вариации. Присоединенная задача. Условие Якоби. Свойства уравнения Риккати. Примеры	Л	6		8	
	Изучение учебного материала по теме	СРС	6		2	
	Раздел 6. Принцип максимума Понтрягина		6			№1, №8, №6, №9 ОП-2.2.1, ОП-2.2.2,

							OP-2.2.3, OP-2.2.4, OP-2.2.5, OP-2.2.6
6.1.	Принцип максимума Понтрягина. Содержание метода. Недостатки вариационного метода. Игольчатая вариация. Принцип максимума. Особое управление. Оптимальное по быстродействию управление для линейных систем. Примеры.	Л	6		8		
	Изучение учебного материала по теме. Подготовка к выполнению лабораторных работ	СРС	6		2		
6.2.	Задача оптимального быстродействия	ЛР	6		2		
	Раздел 7. Динамическое программирование		6			№1, №9, №14	OP-2.2.1, OP-2.2.2, OP-2.2.3, OP-2.2.4, OP-2.2.5, OP-2.2.6
7.1.	Динамическое программирование. Содержание метода. Функция Беллмана. Уравнение Беллмана. Связь с принципом максимума Понтрягина. Решение задачи АКОР. Управление линейной системой с ограничениями на правый конец траектории. Примеры.	Л	6		8		
	Изучение учебного материала по теме	СРС	6		2		
	Консультации в период теоретического обучения	Консультация	6		6		
	Подготовка к промежуточной аттестации в форме экзамена	СРС	6		31.7		
	Прохождение промежуточной аттестации в форме экзамена	Э	6		2.3		

4. Образовательные технологии, учебно-методическое и информационное обеспечение для освоения дисциплины

Исходным звеном является лекция. Лекционный материал затем закрепляется путем выполнения лабораторных работ по отдельным разделам курса.

Самостоятельная работа студентов включает изучение теоретического материала, подготовку к лабораторным работам, а также подготовку к экзамену. Описание лабораторных работ содержится в учебно-методических пособиях, подготовленных для выполнения каждой лабораторной работы, которые в достаточном количестве находятся на кафедре прикладной математики.

Промежуточная аттестация осуществляется путем сдачи экзамена.

Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций, и методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения, приведены в Приложении 1 к рабочей программе «Фонд оценочных средств».

4.1. Рекомендуемая литература и учебно-методическое обеспечение

№ п/п	Авторы / составители	Заглавие	Издательство	Год издания, количество страниц
Основная литература				
1.	Параев Ю.И., Лившиц К.И.	Лекции по теории управления: учебник	Томск: Издательский дом ТГУ	2017 г., 191 с.
2.	Абдрахманов В.Г., Рабчук А.В.	Элементы вариационного исчисления и оптимального управления. Теория, задачи, индивидуальные задания	СПб.: Издательство «Лань»	2014 г., 112 с.
3.	Параев Ю.И., Цветницкая С.А.	Устойчивость линейных систем: учеб.-метод. пособие по курсу «Теория управления»	Томск: ТГУ	2009 г., 22 с.
4.	Параев Ю.И.	Аналитическое конструирование оптимальных регуляторов для непрерывных и дискретных систем: учеб.- метод. пособие по курсу «Теория управления»	Томск: ТГУ	2009 г., 19 с.
5.	Параев Ю.И.	Фильтр Калмана для непрерывных и дискретных систем : учеб.-метод. пособие по курсу «Теория управления»	Томск: ТГУ	2009 г., 19 с.
6.	Параев Ю.И.	Задача оптимального быстродействия : учеб.- метод. пособие по курсу «Теория управления»	Томск: ТГУ	2010 г., 16 с.
Дополнительная литература				
7.	Квакернаак Х., Сиван Р.	Линейные оптимальные системы управления	М.: Мир	1977 г., 652 с.
8.	Понтрягин Л.С., Болтянский В.Г., Гамкрелидзе Р.В., Мищенко Е.Ф.	Математическая теория оптимальных процессов	М.: Наука	1983 г., 393 с.
9.	Лагоша Б.А.	Оптимальное управление в экономике: учебное пособие	М.: Моск. гос. ун-та экономики,	2004 г., 133 с.

			статистики и информатики	
10.	Брайсон А., Ю-Ши Хо	Прикладная теория оптимального управления	М.: Мир	1972 г., 544 с.
11.	Ройтенберг Я.Н.	Автоматическое управление: учебник	М.: Наука	1992 г., 576 с.
12.	Смагин В.И.	Динамические регуляторы: : учеб.-метод. пособие по курсу «Теория управления»	Томск: ТГУ	2004 г., 18 с.
13.	Параев Ю.И., Смагин В.И.	Динамические наблюдатели: учеб.-метод. пособие по курсу «Теория управления»	Томск: ТГУ	2004 г., 25 с.
14.	Беллман Р.	Динамическое программирование	М.: Изд-во Иностранная литература	1960 г., 400 с.

4.2. Базы данных и информационно-справочные системы, в том числе зарубежные

1. «Образовательный математический сайт Exponenta.ru». – URL: <http://www.exponenta.ru>
2. «Образовательный математический сайт Math.ru». – URL: <http://www.math.ru>
3. Онлайн-библиотека: точные науки. – URL : http://www.edu_lib/net .
4. Электронно-библиотечная система Издательства Лань [Электронный ресурс]/ Издательство «Лань». – Электрон. дан. – URL: <https://e.lanbook.com/>
5. Электронная библиотека ТГУ: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>.
6. ScienceDirect [Electronic resource] / Elsevier B.V. – Electronic data. – Amsterdam, Netherlands, 2016. – URL: <http://www.sciencedirect.com/>

4.3. Перечень лицензионного и программного обеспечения

Пакет «Управление», разработанный на кафедре прикладной математики ТГУ

4.4. Оборудование и технические средства обучения

Для проведения лабораторных работ в институте прикладной математики и компьютерных наук имеется дисплейный класс с персональными компьютерами, на которых установлен пакет «Управление».

5. Методические указания обучающимся по освоению дисциплины

Основой обучения является курс лекций, читаемый преподавателем, а также выполнение лабораторных работ, при выполнении которых путем имитационного моделирования исследуются предложенные ранее алгоритмы управления. Для самостоятельной работы и дополнительного расширения круга знаний рекомендуется использовать литературу, приведенную в разделе 4.1, а также информационные системы, приведенные в разделе 4.2.

6. Преподавательский состав, реализующий дисциплину

Лившиц Климентий Исаакович – доктор технических наук, профессор кафедры прикладной математики.

7. Язык преподавания – русский язык.