

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

2021 г.



Теория оптимального управления

рабочая программа дисциплины

Закреплена за кафедрой	<i>прикладной математики</i>
Учебный план	<i>09.03.03 Прикладная информатика, профиль «Разработка программного обеспечения в цифровой экономике»</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>Семестр 6 – экзамен</i>

Программу составил:
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 самостоятельно устанавливаемым образовательным стандартом высшего образования – бакалавриат – федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» по направлению подготовки 09.03.03 – Прикладная информатика (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, умению решать типовые задачи, умению 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 вариативной части Блока 1 «Дисциплины», входит в модуль «Введение в прикладную математику и информатику».

Для освоения дисциплины необходимо знать линейную алгебру, математический анализ, теории дифференциальных уравнений.

Пререквизиты дисциплины: «Математический анализ», «Линейная алгебра и аналитическая геометрия».

Постреквизиты дисциплины: нет.

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 планировать, организовывать исполнение, контроль и анализ отклонений для эффективного достижения целей проекта в рамках утвержденных заказчиком требований, бюджета и сроков.	ИПК-2.2. Готов обосновать принимаемые проектные решения, осуществлять постановку и выполнение экспериментов по проверке их корректности и эффективности.	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 темы исследований; критически оценивать

		<p>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 зачетные 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
Практики (ПЗ)		
Лабораторные работы (ЛР)	16	16
Семинары (СЗ)		
Групповые консультации	2	2
Индивидуальные консультации	4	4
Промежуточная аттестация	2,3	2,3
Самостоятельная работа обучающегося:	55,7	55,7
- выполнение контрольных заданий		
- изучение учебного материала	8	8
- подготовка к практическим занятиям/коллоквиумам	16	16
- подготовка к рубежному контролю по теме/разделу		
- подготовка к рубежному контролю по теме/разделу	31,7	31,7
Вид промежуточной аттестации (зачет, зачет с оценкой, экзамен)	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	Се м е с т р	Часы в электро нной форме	Всего (час.)	Литература	Код (ы) результата(ов) обучения
	Раздел 1. Введение		6				ОР-2.2.1, ОР-2.2.2 ОР-2.2.3.
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.	Лекции	6		4	№1, №9, №10	
1.2	Изучение учебного материала по теме	СРС	6		2		
	Раздел 2. Общая теория линейных систем управления		6				ОР-2.2.1, ОР-2.2.2 ОР-2.2.3.
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.	Лекции	6		12	№1, №2, №7	
	Изучение учебного материала по теме. Подготовка к выполнению лабораторных работ.	СРС			2		
2.2.	Знакомство с пакетом «Управление»	Лаб. работы	6		2		
2.3	Изучение учебного материала по теме. Подготовка к выполнению лабораторных работ.	СРС			2		
2.4	Устойчивость непрерывных и дискретных систем.	Лаб. работы	6		2	№1, №3, №7	
	Раздел 3. Управляемость и наблюдаемость						ОР-2.2.1, ОР-2.2.2 ОР-2.2.3.

3.1.	Критерии управляемости. Критерии наблюдаемости. Общая декомпозиция линейной системы по Калману	Лекции	6		8	№1, №7	
3.2.	Изучение учебного материала по теме	СРС	6		2		
2.3.	Раздел 4. Синтез регуляторов и наблюдателей						ОП-2.2.1, ОП-2.2.2 ОП-2.2.3.
3.1.	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	Лекции	6		10	№1. №7	
3.2.	Изучение учебного материала по теме. Подготовка к выполнению лабораторных работ,	СРС	6		2		
3.3.	Аналитическое конструирование оптимальных регуляторов	Лаб. работы	6		2	№1, №7, №4	
3.4	Изучение учебного материала по теме. Подготовка к выполнению лабораторных работ.	СРС	6		2		
3.5.	Модальное управление	Лаб. работы	6		2	№1, №7	
3.6	Изучение учебного материала по теме. Подготовка к выполнению лабораторных работ.	СРС	6		2		
3.7.	Динамический наблюдатель	Лаб. работы	6		2	№1, №7, №13	
3.8	Изучение учебного материала по теме. Подготовка к выполнению лабораторных работ.	СРС	6		2		
3.9	Фильтр Калмана для дискретных систем	Лаб. работы	6		2	№1, №7, №5	
3.10	Изучение учебного материала по теме. Подготовка к выполнению лабораторных работ.	СРС	6		2		
3.11.	Фильтр Калмана для непрерывных систем	Лаб. работы	6		2	№1, №7, №5	
	Раздел 5. Вариационное исчисление						ОП-2.2.1, ОП-2.2.2 ОП-2.2.3.
4.1	Вариационное исчисление. Содержание метода. Вариация функционала. Функция Гамильтона. Уравнение Эйлера-Лагранжа. Задача Больца. Примеры. Задачи с ограничениями на правый конец траектории.	Лекции	6		8	№1, №2, №10	.

	Задача с произвольным временем и без ограничений на правый конец траектории. Задача с ограничениями общего вида. Примеры.					
4.2.	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.	Лекции	6		4	№1, №2, №10
4.3.	Изучение учебного материала по теме	СРС	6		2	
	Раздел 6. Принцип максимума Понтрягина.					ОП-2.2.1, ОП-2.2.2 ОП-2.2.3.
5.1	Принцип максимума Понтрягина. Содержание метода. Недостатки вариационного метода. Игольчатая вариация. Принцип максимума. Особое управление. Оптимальное по быстродействию управление для линейных систем. Примеры.	Лекции	6		10	№1, №8, №9
5.2	Изучение учебного материала по теме. Подготовка к выполнению лабораторных работ.	СРС	6		2	
5.3.	Задача оптимального быстродействия	Лаб. работы	6		2	№1, №8, №6
	Раздел 7. Динамическое программирование.					ОП-2.2.1, ОП-2.2.2 ОП-2.2.3.
6.1	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.	Лекции	6		8	№1, №9, №14
6.2	Изучение учебного материала по теме	СРС	6		2	
	Групповые консультации				2	
	Индивидуальные консультации				4	
	Промежуточная аттестация				2,3	
	Подготовка к промежуточной аттестации		6		31.7	
	Промежуточная аттестация в форме экзамена					

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.

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, 191 с.
2.	Абдрахманов В.Г., Рабчук А.В.	Элементы вариационного исчисления и оптимального управления. Теория, задачи, индивидуальные задания	СПб.: Издательство «Лань»	2014, 112 с.
3.	Параев Ю.И., Цветницкая С.А.	Устойчивость линейных систем: учеб.-метод. пособие по курсу «Теория управления»	Томск: ТГУ	2009, 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, 19 с.
5.	Параев Ю.И.	Фильтр Калмана для непрерывных и дискретных систем : учеб.-метод. пособие по курсу «Теория управления»	Томск: ТГУ	2009, 19 с.
6.	Параев Ю.И.	Задача оптимального быстродействия : учеб.- метод. пособие по курсу «Теория управления»	Томск: ТГУ	2010, 16 с.
Дополнительная литература				
7.	Квакернаак Х., Сиван Р.	Линейные оптимальные системы управления	М.: Мир. Доступно по адресу: http:// book.org/ reader? file 445855 .	1977, 652 с.
8.	Понтрягин Л.С., Болтянский В.Г., Гамкрелидзе Р.В., Мищенко Е.Ф.	Математическая теория оптимальных процессов	М.: Наука. Доступно по адресу: http://ru.bookzz.org/ book/553595/a8a195 .	1983, 393 с.
9.	Лагоша Б.А.	Оптимальное управление в	М.: Моск. гос. ун-та	2004, 133 с.

		экономике: учебное пособие	экономики, статистики и информатики	
10.	Брайсон А., Ю-Ши Хо	Прикладная теория оптимального управления	М.: Мир. Доступно по адресу: http:// book.org/ reader? file 467240	1972, 544 с.
11.	Ройтенберг Я.Н.	Автоматическое управление: учебник	М.: Наука. Доступно по адресу: http:// ru.bookzz.org/g/ Ройтенберг	1992, 576 с.
12.	Смагин В.И.	Динамические регуляторы: учеб.-метод. пособие по курсу «Теория управления»	Томск: ТГУ	2004, 18 с.
13.	Параев Ю.И., Смагин В.И.	Динамические наблюдатели: учеб.-метод. пособие по курсу «Теория управления»	Томск: ТГУ	2004, 25 с.
14	Беллман Р.	Динамическое программирование	М.: Изд-во Иностранная литература	1960, 400 с.

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

1. Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ [Электронный ресурс] / Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ: [сайт]. – [Томск, 2011–2016]. – URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>.
2. Образовательный математический сайт Exponenta.ru. – URL: <http://www.math.ru>
3. Образовательный математический сайт Math.ru

4.3. Перечень лицензионного и программного обеспечения

Пакет «Управление», разработанный на кафедре прикладной математики ТГУ.

4.4. Оборудование и технические средства обучения

Для реализации дисциплины необходимы лекционные аудитории и аудитории для проведения практических занятий. Специальные технические средства (проектор, компьютер и т.д.) требуются для демонстрации материала в рамках изучаемых разделов, проведения защиты проектов в конце семестра. Вся основная и дополнительная литература, необходимая для самостоятельной работы и подготовки к экзамену, имеется в научной библиотеке ТГУ.

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, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры прикладной математики НИ ТГУ.

Цветницкая Светлана Александровна, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры прикладной математики НИ ТГУ.

7. Язык преподавания – русский язык.