

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования



**Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет**

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по образовательной  
деятельности

 А.Б. Петроченков

« 22 » февраля 20 23 г.

### **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Дисциплина:** Теория оптимального управления  
(наименование)

**Форма обучения:** очная  
(очная/очно-заочная/заочная)

**Уровень высшего образования:** магистратура  
(бакалавриат/специалитет/магистратура)

**Общая трудоёмкость:** 108 (3)  
(часы (ЗЕ))

**Направление подготовки:** 01.04.02 Прикладная математика и информатика  
(код и наименование направления)

**Направленность:** Математический анализ и управление экономическими процессами  
(наименование образовательной программы)

## 1. Общие положения

### 1.1. Цели и задачи дисциплины

Цель учебной дисциплины «Теория оптимального управления» – формирование у студентов профессиональных знаний в области теории оптимального управления.

Задачи учебной дисциплины:

- раскрыть роль математической теории управления в исследовании управляемых динамических систем
- рассмотреть различные постановки прикладных задач теории управления;
- показать содержание этих задач и их решений на конкретных примерах;
- изучить способы формирования критерия качества в зависимости от специфики задачи;
- изучить методы нахождения оптимального управления и область их применимости;
- рассмотреть сравнительную характеристику этих методов.

### 1.2. Изучаемые объекты дисциплины

Предметом освоения учебной дисциплины являются следующие объекты:

- базовая терминология, относящаяся к теории оптимального управления;
- основные принципы управления: жесткое управление, регулирование
- аппроксимативная управляемость;
- устойчивость систем;
- спектр.

### 1.3. Входные требования

Не предусмотрены

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-1.7	ИД-1ПК-1.	Знает: <ul style="list-style-type: none"><li>• базовые понятия теории оптимального управления;</li><li>• типы и виды управления;</li><li>• основные задачи теории оптимального управления;</li><li>• сферы применения теории оптимального управления.</li></ul>	Знает задачи описания и анализа экономических процессов, методы содержательной интерпретации полученных результатов, порядок разработки задания на проведение патентных исследований;	Коллоквиум

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-1.7	ИД-2ПК-1	Умеет: <ul style="list-style-type: none"> <li>• ставить задачи оптимального управления для различных процессов;</li> <li>• решать задачи оптимального управления для различных процессов;</li> </ul>	Умеет оформлять результаты исследований в виде отчета и применять их в организационно-управленческой деятельности	Зачет
ПК-1.7	ИД-3ПК-1	Владеет: <ul style="list-style-type: none"> <li>• навыками постановки задач оптимального управления;</li> <li>• навыками решения задач оптимального управления;</li> <li>• навыками использования математического аппарата оптимального управления для решения практических задач.</li> </ul>	Владеет навыками построения стандартных математических и эконометрических моделей экономических процессов	Контрольная работа

### 3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		1	2
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	36	36	
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	16	16	
- лабораторные работы (ЛР)			
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)	18	18	
- контроль самостоятельной работы (КСР)	2	2	
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	36	36	
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен	36	36	
Дифференцированный зачет			
Зачет			
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)			
Общая трудоемкость дисциплины	108	108	

#### 4. Содержание дисциплины

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
2-й семестр				
Управление крупномасштабными системами.	10	0	10	24
Тема 1. Формулировка системных принципов управления и анализа крупномасштабных систем. Распределенные модели. Цели и функционалы. Децентрализованное и координирующее управление.  Тема 2. Конструктивные методы анализа и управления крупномасштабными системами. Жесткое и компромиссное управление. Системы оптимальности. Управление в условиях выпуклости. Аппроксимативная управляемость.  Тема 3. Устойчивость по Ляпунову крупномасштабных систем. Устойчивость систем. Теоремы сравнения для различных типов крупномасштабных систем. Задача размещения спектра для крупномасштабных систем. Задача размещения спектра в условиях параметрической неопределенности.				
Методы расчета оптимальных стратегий поведения некоторых систем в экономике и технике.	6	0	8	12
Тема 4. Расчет оптимизационных систем в задачах социально-экономической направленности. Управление процессами демографии в регионе. Управление ценой на товары\услуги с учетом пространственного распределения. Управление уровнем материальных благ народонаселения (модель на основе распределенной системы).  Тема 5. Расчет оптимизационных систем в задачах технической направленности. Управление технологическими процессами производства кварцевых оптических волокон. Расчет системы Стокса.				
ИТОГО по 2-му семестру	16	0	18	36
ИТОГО по дисциплине	16	0	18	36

#### Тематика примерных практических занятий

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
1	Распределенные модели. Цели и функционалы.

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
2	Децентрализованное и координирующее управление.
3	Жесткое и компромиссное управление. Системы оптимальности.
4	Управление в условиях выпуклости. Аппроксимативная управляемость.
5	Устойчивость систем. Задача размещения спектра для крупномасштабных систем.
6	Задача размещения спектра в условиях параметрической неопределенности.
7	Управление процессами демографии в регионе. Управление ценой на товары\услуги с учетом пространственного распределения.
8	Управление уровнем материальных благ народонаселения (модель на основе распределенной системы).
9	Управление уровнем материальных благ народонаселения (модель на основе распределенной системы).
10	Управление технологическими процессами производства кварцевых оптических волокон.
11	Управление технологическими процессами производства кварцевых оптических волокон.
12	Расчет системы Стокса.

## 5. Организационно-педагогические условия

### 5.1. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при которой учащиеся не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала, а также на развитие логического мышления. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установления связей с ранее освоенным материалом.

Практические занятия проводятся на основе реализации метода обучения действием: определяются проблемные области, формируются группы. При проведении практических занятий преследуются следующие цели: применение знаний отдельных дисциплин и креативных методов для решения проблем и принятия решений; отработка у обучающихся навыков командной работы, межличностных коммуникаций и развитие лидерских качеств; закрепление основ теоретических знаний.

При проведении учебных занятий используются интерактивные лекции, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинги и анализ ситуаций и имитационных моделей.

## 5.2. Методические указания для обучающихся по изучению дисциплины

При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически.
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела.
3. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по практическим занятиям, лабораторным работам и индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу.
4. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается на лекциях преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции.

## 6. Перечень учебно-методического и информационного обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

### 6.1. Печатная учебно-методическая литература

№ п/п	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке
<b>1. Основная литература</b>		
1	Лесин В. В. Основы методов оптимизации : учебное пособие для вузов / В. В. Лесин, Ю. П. Лисовец. - Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2011.	17
2	Максимов В. П. Теория оптимального управления. Задачи и упражнения : учебно-методические материалы / В. П. Максимов, П.М. Симонов. - Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2012.	5
3	Охорзин В. А. Теория управления : учебное пособие для вузов / В. А. Охорзин, К. В. Сафонов. - Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2014.	6
<b>2. Дополнительная литература</b>		
<b>2.1. Учебные и научные издания</b>		
1	Деменков Н.П. Вычислительные аспекты решения задач оптимального управления : учебное пособие / Н.П. Деменков. - Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2007.	4
2	Иванов В. А. Математические основы теории оптимального и логического управления : учебное пособие для вузов / В. А. Иванов, В. С. Медведев. - Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011.	5
<b>2.2. Периодические издания</b>		
	Не используется	
<b>2.3. Нормативно-технические издания</b>		
	Не используется	
<b>3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины</b>		
	Не используется	
<b>4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента</b>		
	Не используется	

## 6.2. Электронная учебно-методическая литература

Вид литературы	Наименование разработки	Ссылка на информационный ресурс	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
Дополнительная литература	Афанасьев В. Н. Теория оптимального управления непрерывными динамическими системами : учебное пособие	<a href="https://www.hse.ru/data/2012/04/13/1251558143/text.pdf">https://www.hse.ru/data/2012/04/13/1251558143/text.pdf</a>	сеть Интернет; свободный доступ

## 6.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Вид ПО	Наименование ПО
Операционные системы	MS Windows 8.1 (подп. Azure Dev Tools for Teaching )
Офисные приложения.	Adobe Acrobat Reader DC. бесплатное ПО просмотра PDF
Офисные приложения.	Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567
Прикладное программное обеспечение общего назначения	Dr.Web Enterprise Security Suite, 3000 лиц, ПНИПУ ОЦНИТ 2017

## 6.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
Научная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета	<a href="http://lib.pstu.ru/">http://lib.pstu.ru/</a>
Электронно-библиотечная система Лань	<a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>
Электронно-библиотечная система IPRbooks	<a href="http://www.iprbookshop.ru/">http://www.iprbookshop.ru/</a>
Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс	<a href="http://www.consultant.ru/">http://www.consultant.ru/</a>

## 7. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Лекция	IBM PC совместимые компьютеры	15
Практическое занятие	IBM PC совместимые компьютеры	15

## **8. Фонд оценочных средств дисциплины**

Описан в отдельном документе

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Пермский национальный исследовательский политехнический  
университет»

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«Теория оптимального управления»**  
Основная образовательная программа подготовки бакалавров

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
для проведения промежуточной аттестации по дисциплине  
*Приложение к рабочей программе дисциплины*

<b>Направление подготовки:</b>	01.04.02 «Прикладная математика и информатика»
<b>Направленность (профиль) образовательной программы:</b>	«Математический анализ и управление экономическими процессами»
<b>Квалификация выпускника:</b>	«Магистр»
<b>Выпускающая кафедра:</b>	Прикладная математика
<b>Форма обучения:</b>	Очная
<b>Курс: 1</b>	<b>Семестр: 2</b>
<b>Трудоёмкость:</b>	
- кредитов по рабочему учебному плану:	<b>3 ЗЕ</b>
- часов по рабочему учебному плану:	<b>108 ч.</b>
<b>Виды промежуточного контроля:</b>	
Экзамен: 2 семестр	

Пермь  
2023

## **Перечень формируемых частей компетенций, этапы их формирования и контролируемые результаты обучения**

### **1.1. Формируемые части компетенций**

Согласно КМВ ОПОП учебная дисциплина «Теория оптимального управления» участвует в формировании компетенции: ПК-1.7. В рамках учебного плана образовательной программы в 2-м семестре на этапе освоения данной учебной дисциплины формируются следующие дисциплинарные части компетенций:

1. ПК-1.7. Способен на основе описания экономических процессов и явлений строить стандартные математические и эконометрические модели, анализировать и содержательно интерпретировать полученные результаты, применять их в организационно-управленческой деятельности

### **1.2. Этапы формирования дисциплинарных частей компетенций, объекты оценивания и виды контроля**

Согласно РПД освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение одного семестра (2-го семестра базового учебного плана) и разбито на 2 учебных модуля. В каждом модуле предусмотрены аудиторские лекционные и практические занятия, а также самостоятельная работа студентов. В рамках освоения учебного материала дисциплины формируется компоненты дисциплинарных компетенций знать, уметь, владеть, указанные в РПД, и которые выступают в качестве контролируемых результатов обучения (табл. 1.1).

Контроль уровня усвоенных знаний, усвоенных умений и приобретенных владений осуществляется в рамках текущего, рубежного и итогового контроля при изучении теоретического материала, и экзамена. Виды контроля сведены в таблицу 1.1.

Таблица 1.1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине

Контролируемые результаты освоения Вид контроля дисциплины (ЗУВы)	Вид контроля					
	ТТ	РТ	КР	ГР (КР)	Трен. (ЛР)	Зачет (экзамен)
<b>Знает:</b>						
базовые понятия теории оптимального управления	С		КР1			КЗ
типы и виды управления	ТО1	КЗ1				КЗ
основные задачи теории оптимального управления	ТО1	КЗ1				КЗ
сферы применения теории оптимального						КЗ
<b>Умеет:</b>						
ставить задачи оптимального управления для различных процессов				КР1		КЗ
решать задачи оптимального управления для различных процессов				КР1		КЗ
<b>Владет:</b>						
навыками постановки задач оптимального управления	ТО2			КР2		КЗ
навыками решения задач оптимального управления	ТО2	КЗ2		КР2		КЗ
навыками использования математического аппарата оптимального управления для решения практических задач						КЗ

С - собеседование по теме; ТО- коллоквиум (теоретический опрос); КЗ - кейс-задача (индивидуальное задание); ОЛР - отчет по лабораторной работе; ТИКР - рубежное тестирование (контрольная работа); ТВ - теоретический вопрос; ПЗ - практическое задание; КЗ - комплексное задание зачета. ТТ - текущее тестирование (контроль знаний по теме);

РТ - рубежное тестирование по модулю (автоматизированная система контроля знаний);  
 КР - рубежная контрольная работа по модулю (оценка умений);  
 ГР (КР) - индивидуальные графические или курсовые работы (оценка умений и владений);  
 Трен. (ЛР) - выполнение тренажей и лабораторных работ с подготовкой отчёта (оценка владения).

Итоговой оценкой освоения дисциплинарных компетенций (результатов обучения по дисциплине) является промежуточная аттестация в виде экзамена, проводимая с учетом результатов текущего и рубежного контроля.

## 2. Виды контроля, типовые контрольные задания и шкалы оценивания результатов обучения

### 2.1. Текущий контроль

Текущий контроль для оценивания знаниевого компонента дисциплинарных частей компетенций (табл. 1.1) в форме собеседования или выборочного теоретического опроса студентов проводится по каждой теме. Результаты по 4-балльной шкале оценивания заносятся в книжку преподавателя и учитываются в виде интегральной оценки при проведении промежуточной аттестации.

## **2.2. Рубежный контроль**

Рубежный контроль для комплексного оценивания усвоенных знаний, освоенных умений и приобретенных владений дисциплинарных частей компетенций (табл. 1.1) проводится согласно графику учебного процесса, приведенного в РПД, в форме защиты индивидуальных заданий и рубежных контрольных работ (после изучения каждого модуля учебной дисциплины).

### **2.2.1. Защита индивидуального домашнего задания**

Индивидуальные домашние задания соответствуют темам практических занятий (табл. 4.3 РПД). Защита индивидуального домашнего задания (ИДЗ) проводится индивидуально с каждым студентом или группой студентов. Типовые шкала и критерии оценки приведены в общей части ФОС магистерской программы.

### **2.2.2. Рубежная контрольная работа**

Согласно РПД запланировано 2 рубежные контрольные работы по основным разделам дисциплины:

КР.1 «Классификация задач ОУ с РП»

Типовые задания первой КР:

1. Классифицировать данную задачу ОУ с РП.
2. Получить собственную постановку задачи ОУ с РП.

КР2 «Задачи ОУ с РП в реальной практике и подходы к их решению».

Типовые задания второй КР:

1. Получить оптимизационную систему в задаче о демографическом росте .
2. Показать аппроксимативную управляемость в задаче о денежных накоплениях ансамбля семей.

Типовая шкала и критерии оценки результатов рубежных контрольных работ приведены в общей части ФОС магистерской программы.

## **2.3. Выполнение комплексного индивидуального домашнего задания.**

Для оценивания навыков и опыта деятельности (владения), как результата обучения по дисциплине, не имеющей курсового проекта или работы, используется индивидуальное комплексное (домашнее) задание студенту. Типовые шкала и критерии оценки результатов защиты индивидуального комплексного задания приведены в общей части ФОС магистерской программы.

### **2.4. Промежуточная аттестация**

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего и рубежного контроля. Условиями допуска являются успешная защита всех индивидуальных домашних заданий и положительная интегральная оценка по результатам текущего и рубежного контроля.

#### **2.4.1. Процедура промежуточной аттестации без дополнительного аттестационного испытания**

Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена. Экзамен по дисциплине основывается на результатах выполнения предыдущих индивидуальных заданий студента по данной дисциплине. Критерии выведения итоговой оценки за компоненты компетенций при проведении промежуточной аттестации в виде экзамена приведены в общей части ФОС магистерской программы.

#### **2.4.2. Процедура промежуточной аттестации с проведением аттестационного испытания**

В отдельных случаях (например, в случае переаттестации дисциплины) промежуточная аттестация в виде экзамена по дисциплине может проводиться с проведением аттестационного испытания по билетам. Билет содержит теоретические вопросы (ТВ) для проверки усвоенных знаний, практические задания (ПЗ) для проверки

освоенных умений и комплексные задания (КЗ) для контроля уровня приобретенных владений всех заявленных дисциплинарных компетенций.

Билет формируется таким образом, чтобы в него попали вопросы и практические задания, контролирующие уровень сформированности всех заявленных дисциплинарных компетенций.

2.4.2.1. Типовые вопросы и задания для экзамена по дисциплине

**Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний:**

1. Классификация задач ОУ с РП
2. Выпуклость целевых функций
3. Аппроксимативная управляемость
4. Вывод систем оптимальности.
5. Решение систем оптимальности.
6. Численная реализация задач ОУ с РП.

**Типовые вопросы и практические задания для контроля усвоенных умений:**

1. Классифицировать задачу оптимального управления

$$\frac{\partial y}{\partial t} = \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + \frac{\partial y}{\partial x} + y, y = y(t, x)$$

$$y|_{t=0} = u(x), y|_{x=0} = y|_{x=L} = 0,$$

$$F(y, u) = \int_0^L (y|_{t=\tau} - y^*) dx \rightarrow \min$$

2. Получить систему оптимальности для задачи ОУ с РП из п.1.
3. Численно решить систему оптимальности для задачи ОУ с РП из п.2.

**Типовые комплексные задания для приобретенных владений:**

1. Сформулировать и решить задачу о демографическом росте с известным типом управления и наблюдения.
2. Показать аппроксимативную управляемость данной задачи ОУ с РП.
3. Получить оптимизационную систему для задачи управления

$$\frac{\partial y}{\partial t} = \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + u, y = y(t, x), u = u(t, x)$$

$$y|_{t=0} = f(x), y|_{x=0} = y|_{x=L} = g(t),$$

$$F(y, u) = \int_0^L (y|_{t=\tau} - y^*) dx + \alpha \|u\|^2 \rightarrow \min, \alpha \in (0; 1).$$

### **3.1. Оценка уровня сформированности компонентов дисциплинарных компетенций**

При оценке уровня сформированности дисциплинарных компетенций в рамках выборочного контроля при зачете считается, что *полученная оценка за компонент проверяемой в билете дисциплинарной компетенции обобщается на соответствующий компонент всех дисциплинарных компетенций, формируемых в рамках данной учебной дисциплины.*

Общая оценка уровня сформированности всех дисциплинарных компетенций проводится путем агрегирования оценок, полученных студентом за каждый компонент формируемых компетенций, с учетом результатов текущего и рубежного контроля в виде интегральной оценки по 4-х балльной шкале. Все результаты контроля заносятся в оценочный лист и заполняются преподавателем по итогам промежуточной аттестации.

Форма оценочного листа и требования к его заполнению приведены в общей части ФОС магистерской программы.

При формировании итоговой оценки промежуточной аттестации в виде зачета используются типовые критерии, приведенные в общей части ФОС магистерской программы.