

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе



А.Л.Толстик

Регистрационный № УД- 2871 /уч.

КАЧЕСТВЕННАЯ ТЕОРИЯ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности:

1-31 03 03 Прикладная математика (по направлениям)
направления специальности

1-31 03 03-01 Прикладная математика (научно-производственная
деятельность)

2016 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 03 03-2013 и учебного плана УВО №G31-173/уч. 2013 г.

СОСТАВИТЕЛИ:

Н.М. Дмитрук, зав. кафедрой методов оптимального управления факультета прикладной математики и информатики Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ В КАЧЕСТВЕ УЧЕБНОЙ:

Кафедрой методов оптимального управления Белорусского государственного университета
(протокол № 9 от 26 апреля 2016 г.)

Учебно-методической комиссией факультета прикладной математики и информатики
(протокол № 6 от 24.05.2016 г.)

1. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Дисциплина «Качественная теория оптимального управления» относится к циклу дисциплин специализации для студентов, обучающихся по специальности 1-31 03 03 «Прикладная математика» (по направлениям). В данном курсе излагаются некоторые вопросы качественной теории оптимальных процессов. Основное внимание уделяется одному из фундаментальных результатов теории оптимального управления – принципу максимума Понтрягина. Последовательно рассматриваются задачи от простейшей задачи терминального управления непрерывной системой к задачам с различными ограничениями, задачам с нефиксированной продолжительностью процессов и управлению дискретными системами.

Целью учебной дисциплины «Качественная теория оптимального управления» является формирование у студентов знаний, умений и навыков в области моделирования и анализа задач оптимизации динамических систем, знакомство с основными результатами теории оптимального управления, освоение методов решения практических задач.

Задачи изучения учебной дисциплины:

- формирование навыков математического моделирования динамических процессов из различных прикладных областей и формулировки для них экстремальных задач;
- изучение основных результатов качественной теории управления;
- освоение методов решения задач оптимального управления с помощью принципа максимума.

Дисциплина в значительной степени опирается на знания, полученные студентами на курсе «Методы оптимизации». Служит базой для выполнения курсовых проектов, курсовых и дипломных работ.

В результате изучения учебной дисциплины студент должен:

знать:

- основные задачи теории управления;
- понятия и задачи теории оптимального управления;
- основные результаты качественной теории оптимального управления;
- формулировки принципа максимума для различных задач оптимального управления;
- методы решения задач оптимального управления;

уметь:

- исследовать управляемость и наблюдаемость линейных стационарных и нестационарных систем;
- моделировать практические задачи оптимального управления;
- применять методы решения задач оптимального управления;
- проводить анализ решения;

владеть:

- основными аналитическими инструментами, используемыми при построении математических моделей механики и экономики;
- методами решения и анализа задач оптимального управления;

– навыками самостоятельной исследовательской работы для проведения математических исследований.

Требования к академическим компетенциям специалиста

Специалист должен:

- уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач;
- владеть системным и сравнительным анализом;
- владеть исследовательскими навыками;
- уметь работать самостоятельно;
- быть способным вырабатывать новые идеи (обладать креативностью);
- владеть междисциплинарным подходом при решении проблем;
- иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером.

Требования к социально-личностным компетенциям специалиста

Специалист должен:

- быть способным к критике и самокритике (критическое мышление);
- уметь работать в команде.

Требования к профессиональным компетенциям специалиста

Специалист должен быть способен:

Организационно-управленческая деятельность

- взаимодействовать со специалистами смежных профилей;
- владеть современными средствами телекоммуникаций.

В соответствии с учебным планом 1-31 03 03-01 «Прикладная математика (научно-производственная деятельность)» для студентов дневной формы получения образования учебная программа предусматривает для изучения дисциплины 154 учебных часа, в том числе 68 аудиторных часов: лекции – 34 часа, лабораторные занятия – 30 часов, управляемая самостоятельная работа – 4 часа. Форма текущей аттестации студентов в рамках данной дисциплины – экзамен на третьем курсе в 5-ом семестре.

II. СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Введение

Введение в курс. Цели и задачи курса. Системы управления. Основные задачи теории управления.

Раздел I. Линейные управляемые системы

Управляемость линейных стационарных систем.

Линейные системы. Формула Коши. Множество достижимости. Понятие полной управляемости. Неявный критерий управляемости. Критерий управляемости Калмана. Канонические формы управляемых систем. Спектральный критерий управляемости Хаутуса. Условная и относительная управляемость.

Наблюдаемость линейных стационарных систем.

Операция восстановления состояния по наблюдаемому выходу. Связь проблемы наблюдаемости с проблемой управляемости, дуальность. Критерии наблюдаемости линейных стационарных систем.

Линейные нестационарные системы, критерии управляемости и наблюдаемости.

Достаточное условие управляемости нестационарных систем. Примеры.

Раздел II. Задачи оптимального управления

Постановка и классификация задач оптимального управления.

Примеры задач из экономики и механики. Классы доступных управлений. Ограничения на траекторию: задачи со свободными, закрепленными, подвижными концами траекторий, фазовые и смешанные ограничения. Допустимые управления. Типы критериев качества, эквивалентность критериев. Оптимальное управление. Существование оптимальных управлений.

Принцип максимума для простейшей задачи терминального управления.

Простейшая задача терминального управления. Игольчатая вариация. Вариация траектории. Формула приращения критерия качества. Формулировка и доказательство принципа максимума Понтрягина в задаче терминального управления. Принцип максимума как достаточное условие оптимальности. Экстремали Понтрягина и их свойства.

Обсуждение принципа максимума.

Связь принципа максимума с правилом множителей Лагранжа. Задачи оптимального управления с критериями качества типа Больца и Лагранжа. Экономическая интерпретация принципа максимума. Построение оптимальных программ-

ных управлений с помощью принципа максимума. Краевая задача принципа максимума. Примеры. Численные методы решения задач оптимального управления

Задачи с подвижным правым концом траектории, условия трансверсальности.

Обобщенная игольчатая вариация. Вариации функционалов и траектории. Отделимость выпуклых конусов. Принцип максимума для задач с терминальными ограничениями-неравенствами. Терминальные ограничения-равенства. Задачи с подвижным левым концом траектории. Примеры.

Задачи с нефиксированной продолжительностью процесса.

Принцип максимума для простейшей задачи с нефиксированной продолжительностью процесса. Оптимальный момент окончания процесса. Общая задача оптимального управления.

Оптимальные по быстродействию системы.

Понятие синтеза оптимальной системы. Построение синтеза оптимальной системы на плоскости на примере задачи об успокоении материальной точки.

Специальные задачи оптимального управления.

Задачи оптимального управления непрерывными системами в классе дискретных управляющих воздействий. Оптимизация дискретных систем.

III. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество ча- сов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практи- ческие занятия	Семи- нарские занятия	Лабора- торные занятия	Иное		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Введение в курс. Основные задачи теории управления.	2						
2	Линейные управляемые системы	8			6		2	
2.1	<i>Управляемость линейных стационарных систем.</i>	4						Устный опрос
2.2	<i>Наблюдаемость линейных систем.</i>	2						
2.3	<i>Исследование управляемости и наблюдаемости линейных стационарных систем</i>				6		2	Презента- ция
2.4	<i>Линейные нестационарные системы, критерии управляемости и наблюдаемости.</i>	2						Устный фронталь- ный опрос
3	Задачи оптимального управления	24			24		2	
3.1	<i>Постановка и классификация задач оптимального управления.</i>	2						
3.2	<i>Построение математических моделей управляемых систем и постановки задач оптимального управления в различных прикладных областях</i>				2			Отчет по лаб. рабо- там
3.3	<i>Принцип максимума для простейшей задачи терминального управления.</i>	4						Коллокви- ум

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3.4	<i>Обсуждение принципа максимума.</i>	4						Устный опрос
3.5	<i>Решение задач терминального управления с помощью принципа максимума</i>				6			Контрольная раб.
3.6	<i>Задачи с подвижным правым концом траектории, условия трансверсальности.</i>	4						Устный фронтальный опрос
3.7	<i>Решение задач оптимального управления: задачи с терминальными ограничениями, особые управления, скользящие режимы</i>				4			Отчет по лаб. работам
3.8	<i>Задачи с нефиксированной продолжительностью процесса.</i>	2						
3.9	<i>Решение задач с нефиксированной продолжительностью процесса</i>				2			Отчет по лаб. работам
3.10	<i>Оптимальные по быстродействию системы.</i>	4						
3.11	<i>Решение задач быстродействия</i>				6			Отчет по лаб. работам
3.12	<i>Построение оптимальных управлений с помощью принципа максимума.</i>						2	Презентации
3.13	<i>Специальные задачи оптимального управления.</i>	4						
3.14	<i>Решение задач оптимального управления с использованием систем компьютерной алгебры.</i>				4			Отчет по лаб. работам

IV. ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. Альсевич, В.В. Методы оптимизации. Учебное пособие / Р. Габасов, А.И. Калинин, Ф.М. Кириллова, В.В. Крахотко, Н.С. Павленок. – Изд-во «Четыре четверти», 2011.
2. Понтрягин, Л.С., Болтянский, В.Г., Гамкрелидзе, Р.В., Мищенко, Е.Ф. Математическая теория оптимальных процессов. – М.: Наука, 1983.
3. Понтрягин, Л.С. Принцип максимума в оптимальном управлении. – М.: Наука, 1990.
4. Габасов, Р., Кириллова, Ф.М. Принцип максимума в теории оптимального управления. – М.: «Либроком», 2011.
5. Красовский Н.Н. Теория управления движением. – М.: Наука, 1968.
6. Васильев, Ф. Методы оптимизации. – М.: Факториал Пресс, 2002.

Дополнительная

1. Габасов, Р., Кириллова, Ф.М. Оптимизация линейных систем: Методы функционального анализа. – Мн.: Изд-во БГУ, 1973.
2. Зеликин М.И. Оптимальное управление и вариационное исчисление. – М.: Едиториал УРСС, 2004
3. Афанасьев В.Н., Колмановский В.Б., Носов В.Р. Математическая теория конструирования систем управления. – М.: Высшая школа, 2003.
4. Bellman, R. Dynamic programming. – Princeton: Princeton University Press, 1957.
5. Dorfman R. An economic interpretation of optimal control theory //The American Economic Review. – 1969. – Т. 59. – №. 5. – С. 817-831.
6. Асеев С. М., Кряжмский А. В. Принцип максимума Понтрягина и задачи оптимального экономического роста // Труды Математического Института им. В.А. Стеклова. – 2007. – Т. 257. – С. 3-271.

Перечень используемых средств диагностики по учебной дисциплине «Качественная теория оптимального управления»

Для промежуточной и итоговой диагностики знаний и компетенций студента по учебной дисциплине «Качественная теория оптимального управления» возможно применение следующих форм:

1. устная форма: устный опрос, фронтальный опрос;
2. письменная форма: письменные отчеты по лабораторным работам, контрольные работы; коллоквиумы;
3. устно-письменная форма: отчеты по лабораторным работам с их устной защитой; презентации по индивидуальным или групповым заданиям.

Примерный перечень заданий управляемой самостоятельной работы студентов

Тема 1. «Исследование управляемости и наблюдаемости линейных стационарных систем».

Задание 1. Исследовать управляемость линейной стационарной системы, используя критерий Калмана (по вариантам индивидуальных заданий).

Задание 2. Установить условия управляемости линейной системы непрямого управления.

Задание 3. Исследовать наблюдаемость системы (по вариантам заданий).

Перечень используемых средств диагностики результатов управляемой самостоятельной работы студентов: подготовка презентаций по индивидуальным или групповым (2-3 человека) заданиям и их индивидуальная или публичная защита. Время на выступление – до 20 минут.

Тема 2. «Построение оптимальных управлений с помощью принципа максимума».

Задание 1. В простейшей задаче терминального управления определить оптимальное управление с помощью принципа максимума Понтрягина (по вариантам индивидуальных заданий).

Задание 2. Решить задачу быстродействия для линейного объекта второго порядка (по вариантам заданий).

Перечень используемых средств диагностики результатов управляемой самостоятельной работы студентов: подготовка презентации по индивидуальному заданию, публичная защита (10 минут).

Рекомендации по текущему контролю качества усвоения знаний и проведению аттестации

Для текущего контроля качества усвоения знаний по дисциплине рекомендуется использовать устные опросы, коллоквиумы и контрольные работы. Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины. Для студентов, получивших неудовлетворительные оценки за контрольные мероприятия, либо не явившихся по неуважительной причине, по согласованию с преподавателем мероприятие может быть проведено повторно.

В течение семестра проводится один коллоквиум и одна контрольная работа. На выполнение контрольной работы отводится до 60 мин, коллоквиума — до 20 минут. Задания оцениваются в соответствии с их сложностью, максимальная сумма баллов за все задания в контрольной (коллоквиуме) равна 10.

Оценка текущей успеваемости рассчитывается как среднее оценок за коллоквиум, контрольную работу и средней оценки за лабораторные и управляемые самостоятельные работы. При оценке текущей успеваемости ниже 4 баллов решением кафедры студенты не допускаются к экзамену, и им назначается срок выполнения контрольной работы и/или коллоквиума.

Итоговая аттестация по учебной дисциплине проводится в форме экзамена. Экзаменационная оценка и оценка текущей успеваемости служат для определения рейтинговой оценки по дисциплине, которая рассчитывается как средневзвешенная оценка текущей успеваемости и экзаменационной оценки. Весовой коэффициент для оценки текущей успеваемости — 0,3; для экзаменационной оценки — 0,7.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола) ¹
Методы оптимизации	МОУ	Предложений нет	Изменений не требуется (протокол № 9 от 26.04.2016 г)

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ УВО
на ____ / ____ учебный год

№№ пп	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
методов оптимального управления (протокол № ____ от _____ 20__ г.)

Заведующий кафедрой

к.ф.-м.н., доцент
(ученая степень, звание)

(подпись)

Н.М.Дмитрук
(И.О. Фамилия)

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета

доцент
(ученая степень, звание)

(подпись)

П.А. Мандрик
(И.О.Фамилия)