




МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Дальневосточный федеральный университет»
(ДФУ)
ШКОЛА ЭКОНОМИКИ И МЕНЕДЖМЕНТА


СОГЛАСОВАНО
Руководитель ОП



(подпись) А.А. Кравченко
(ФИО)

УТВЕРЖДАЮ

Директор Департамента управления на основе данных
(Data Driven Management Department)



(подпись) А.А. Кравченко
(И.О. Фамилия)

«23» ноября 2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Оптимальное управление
Направление подготовки 38.03.01 Экономика
Бизнес-информатика
Форма подготовки: очная

Рабочая программа составлена в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта по направлению подготовки 38.03.01 Экономика, утвержденного приказом Минобрнауки России от 12.08.2020 г. №954

Рабочая программа обсуждена на заседании Департамента управления на основе данных (Data Driven Management Department) протокол от «23» ноября 2021 г. № 03

Директор Департамента управления на основе данных
(Data Driven Management Department)

канд. экон. наук, доцент А.А. Кравченко

Составители:

канд. экон. наук, доцент И.С. Хан

Владивосток
2022

1. Рабочая программа пересмотрена на заседании Департамента управления на основе данных (Data Driven Management Department) и утверждена на заседании Департамента управления на основе данных (Data Driven Management Department), протокол от « ____ » _____ 202 г. № ____
2. Рабочая программа пересмотрена на заседании Департамента управления на основе данных (Data Driven Management Department) и утверждена на заседании Департамента управления на основе данных (Data Driven Management Department), протокол от « ____ » _____ 202 г. № ____
3. Рабочая программа пересмотрена на заседании Департамента управления на основе данных (Data Driven Management Department) и утверждена на заседании Департамента управления на основе данных (Data Driven Management Department), протокол от « ____ » _____ 202 г. № ____
4. Рабочая программа пересмотрена на заседании Департамента управления на основе данных (Data Driven Management Department) и утверждена на заседании Департамента управления на основе данных (Data Driven Management Department), протокол от « ____ » _____ 202 г. № ____
5. Рабочая программа пересмотрена на заседании Департамента управления на основе данных (Data Driven Management Department) и утверждена на заседании Департамента управления на основе данных (Data Driven Management Department), протокол от « ____ » _____ 202 г. № ____

Аннотация дисциплины

Оптимальное управление

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачётные единицы /144 академических часов. Является дисциплиной части ОП, формируемой участниками образовательных отношений, из блока «Дисциплины (модули) по выбору 2 (ДВ.2)», изучается на 4 курсе и завершается экзаменом. Учебным планом предусмотрено проведение лекционных занятий в объеме 18 часов, лабораторных 36 часов, а также выделены часы на самостоятельную работу студента - 90 часов (в том числе 27 часов на подготовку к экзамену).

Язык реализации: русский.

Цель дисциплины:

- изучение и освоение основ математической теории оптимального управления, формирование умения моделировать проблемные динамические процессы в экономике с последующей постановкой и решением стандартных задач оптимального управления, адекватных проблемным производственным или иным конкретным целям процесса.

Основные задачи:

1. Формирование и усвоения студентами теоретических основ математической теории оптимального управления, в объёме и формате необходимых для профессиональной деятельности в области бизнес – информатики.
2. Дать представление о содержании и специфике математического моделирования проблемных динамических социально – экономических процессов с целью оптимального управления ими и достижения наилучших целевых показателей.
3. Сформировать навыки постановки типичных модельных задач оптимального управления, адекватных поставленным прикладным целям динамического процесса.
4. Научить интерпретировать результаты динамического экономико-математического моделирования и оптимизации и применять их для обоснования хозяйственных и управленческих решений.

5. Освоение базовых методов постановки, решения и анализа типичных задач оптимального управления в различных информационных средах с разной степенью полноты и совершенства информации.

6. Сформировать основу для дальнейшего самостоятельного изучения методов математической теории оптимального управления для моделирования и оптимизации динамических производственных и информационных процессов.

Для успешного изучения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции: ОПК-1.1 (писывает задачи профессиональной деятельности, используя профессиональную терминологию и модели экономической науки), ОПК-1.2 (Применяет корректные модели и методы для решения прикладных задач), ОПК-3.2 (Анализирует экономические процессы и явления на микро- и макроуровне), ОПК-3.3 (Корректно интерпретирует полученные на основе моделирования результаты), ПК-1 (Способен при решении профессиональных задач анализировать социально-экономические проблемы и процессы с применением методов системного анализа, естественнонаучных дисциплин и математического моделирования), ПК-1.1 (Способен выбрать, использовать и формулировать математические и инструментальные методы при решении теоретических и прикладных задач), ПК-1.2 (Способен выбрать математические и инструментальные средства для обработки экономических данных, проанализировать полученные результаты и обосновать полученные выводы, сделать прогноз), ПК-1.3 (Способен применять системный подход и естественно-научные методы в формализации решения прикладных задач), ПК-2.3 (Способен находить организационно-управленческие решения и готов нести за них ответственность), ПК-5.3 (Способен применять к решению прикладных задач базовые алгоритмы обработки информации),

полученные в результате изучения дисциплин: Линейная алгебра, Математический анализ, Теория вероятностей и математическая статистика, Теория игр, Дискретная математика, Основы программирования для экономистов, Математические методы и модели в экономике, Исследование операций, Моделирование бизнес-процессов, Микроэкономика, Макроэкономика.

После курса «Оптимальное управление» обучающийся должен быть готов к изучению таких дисциплин, как Управление данными, Эффективность информационных технологий, Оптимизация бизнес-процессов, Расчет экономической эффективности IT-проектов, Проектирование и управление жизненным циклом IT-продуктов, Цифровые трансформации и глобальное общество, Практика создания бизнеса, Производственная практика. Научно-исследовательская работа (Преддипломная практика), формирующих компетенции УК-10.2, ОПК-4.1, ПК-1.3, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-3.1, ПК-3.2, ПК-3.3, ПК-4.3.

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы, характеризуют формирование следующих компетенций, индикаторов достижения компетенций:

Наименование категории (группы) компетенций	Код и наименование компетенции (результат освоения)	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
Профессиональные компетенции	ПК - 1 Способен при решении профессиональных задач анализировать социально-экономические проблемы и процессы с применением	ПК-1.1 Способен выбрать, использовать и формулировать математические и инструментальные методы при решении теоретических и прикладных задач.	Знает: теоретические основы, современные методы и инструментарий исследования операций
			Умеет: использовать методы и инструментарий исследования операций для решения типовых оптимизационных задач при математическом моделировании в профессиональной деятельности.

	методов системного анализа, естественнонаучных дисциплин и математического моделирования		Владеет: навыками и методами для решения типовых экстремальных при моделировании социально-экономических процессов.
		ПК-1.3 Способен применять системный подход и естественно-научные методы в формализации решения прикладных задач сделать прогноз.	Знает: основные математические и инструментальные средства для обработки и анализа экономических данных.
			Умеет: использовать основные математические и инструментальные средства для оптимизации и анализа результатов.
			Владеет: навыками использования математических и инструментальных средства для анализа и оптимизации экономических процессов.
	ПК-2.3 Способен находить организационно-управленческие решения и готов нести за них ответственность.	Знает: основные формы и структуры организационно-управленческих решений, соответствующих оптимальным решениям модельных задач.	
		Умеет: транслировать результаты математической оптимизации в управленческие решения.	
		Владеет: инструментами математического оптимального управления для поиска производственных организационно-управленческих решений.	

Для формирования вышеуказанных компетенций в рамках дисциплины «Оптимальное управление» применяются следующие дистанционные образовательные технологии и методы активного обучения: лекции-презентации, «мозговой штурм», работа в малых группах, выполнение групповых и индивидуальных творческих заданий, индивидуальные он-лайн консультации.

I. Цели и задачи освоения дисциплины:

Цель дисциплины:

- изучение и освоение основ математической теории оптимального управления, формирование умения моделировать проблемные динамические процессы в экономике с последующей постановкой и решением стандартных

задач оптимального управления, адекватных проблемным производственным или иным конкретным целям процесса.

Основные задачи:

1. Формирование и усвоения студентами теоретических основ математической теории оптимального управления, в объёме и формате необходимых для профессиональной деятельности в области бизнес – информатики.
2. Дать представление о содержании и специфики математического моделирования проблемных динамических социально – экономических процессов с целью оптимального управления ими и достижения наилучших целевых показателей.
3. Сформировать навыки постановки типичных модельных задач оптимального управления, адекватных поставленным прикладным целям динамического процесса.
4. Научить интерпретировать результаты динамического экономико-математического моделирования и оптимизации и применять их для обоснования хозяйственных и управленческих решений.
5. Освоение базовых методов постановки, решения и анализа типичных задач оптимального управления в различных информационных средах с разной степенью полноты и совершенства информации.
6. Сформировать основу для дальнейшего самостоятельного изучения методов математической теории оптимального управления для моделирования и оптимизации динамических производственных и информационных процессов.

Для успешного изучения дисциплины у обучающихся должны быть сформированы следующие предварительные компетенции: ОПК-1.1 (писывает задачи профессиональной деятельности, используя профессиональную терминологию и модели экономической науки), ОПК-1.2 (Применяет корректные модели и методы для решения прикладных задач), ОПК-3.2 (Анализирует экономические процессы и явления на микро- и макроуровне), ОПК-3.3 (Корректно интерпретирует полученные на основе

моделирования результаты), ПК-1 (Способен при решении профессиональных задач анализировать социально-экономические проблемы и процессы с применением методов системного анализа, естественнонаучных дисциплин и математического моделирования), ПК-1.1 (Способен выбрать, использовать и формулировать математические и инструментальные методы при решении теоретических и прикладных задач), ПК-1.2 (Способен выбрать математические и инструментальные средства для обработки экономических данных, проанализировать полученные результаты и обосновать полученные выводы, сделать прогноз), ПК-1.3 (Способен применять системный подход и естественно-научные методы в формализации решения прикладных задач), ПК-2.3 (Способен находить организационно-управленческие решения и готов нести за них ответственность), ПК-5.3 (Способен применять к решению прикладных задач базовые алгоритмы обработки информации), полученные в результате изучения дисциплин: Линейная алгебра, Математический анализ, Теория вероятностей и математическая статистика, Теория игр, Дискретная математика, Основы программирования для экономистов, Математические методы и модели в экономике, Исследование операций, Моделирование бизнес-процессов, Микроэкономика, Макроэкономика.

После курса «Оптимальное управление» обучающийся должен быть готов к изучению таких дисциплин, как Управление данными, Эффективность информационных технологий, Оптимизация бизнес-процессов, Расчет экономической эффективности IT-проектов, Проектирование и управление жизненным циклом IT-продуктов, Цифровые трансформации и глобальное общество, Практика создания бизнеса, Производственная практика. Научно-исследовательская работа (Преддипломная практика), формирующих компетенции УК-10.2, ОПК-4.1, ПК-1.3, ПК-2.2, ПК-2.3, ПК-3.1, ПК-3.2, ПК-3.3, ПК-4.3.

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы,

характеризуют формирование следующих компетенций, индикаторов достижения компетенций:

Наименование категории (группы) компетенций	Код и наименование компетенции (результат освоения)	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания (результата обучения по дисциплине)
Профессиональные компетенции	ПК - 1 Способен при решении профессиональных задач анализировать социально-экономические проблемы и процессы с применением методов системного анализа, естественнонаучных дисциплин и математического моделирования	ПК-1.1	Знает: теоретические основы, современные методы и инструментальный оптимального управления.
		Способен выбрать, использовать и формулировать математические и инструментальные методы при решении теоретических и прикладных задач.	Умеет: использовать методы и инструментальный оптимального управления для решения типовых оптимизационных задач при математическом моделировании в профессиональной деятельности.
			Владеет: навыками и методами для решения типовых экстремальных при моделировании социально-экономических процессов.
		ПК-1.3	Знает: основные математические и инструментальные средства для обработки и анализа экономических данных.
			Умеет: использовать основные математические и инструментальные средства для оптимизации и анализа результатов.
			Владеет: навыками использования математических и инструментальных средств для анализа и оптимизации экономических процессов.
Способен применять системный подход и естественнонаучные методы в формализации решения прикладных задач сделать прогноз.			

		ПК-2.3 Способен находить организационно-управленческие решения и готовить за них ответственность.	Знает: основные формы и структуры организационно-управленческих решений, соответствующих оптимальным решениям модельных задач.
	Умеет: транслировать результаты математической оптимизации в управленческие решения.		
	Владеет: инструментами математического оптимального управления для поиска производственных организационно-управленческих решений.		

II. Трудоемкость дисциплины и виды учебных занятий по дисциплине

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачётные единицы (144 академических часов).

Структура дисциплины:

Форма обучения – очная

№	Наименование раздела дисциплины	С е м е с т р	Количество часов по видам учебных занятий и работы обучающегося					Конт роль	Формы промежуточной аттестации
			Лек	Лаб	Пр	ОК	СР		
	Раздел 1 Элементы динамического программирования		6	12			19		
	Тема 1 Модель, постановка дискретной задачи динамического программирования (ДП) и метод её решения.		2	4			6		
	Тема 2 Реализация метода ДП в задачах с непрерывными переменными и функциями критериев.		2	4			6		
	Тема 3. Реализация метода ДП в задачах с дискретными переменными и табличными функциями критериев.		2	4			7		

	Раздел 2. Элементы вариационного исчисления (ВИ) в оптимизации экономических процессов.	4	8			18		
	Тема 4 Теоретические основы и аппарат вариационного исчисления (ВИ).	2	4			10		
	Тема 5. Базовые примеры прикладных оптимизационных моделей и задач, решаемых методами ВИ .	2	4			8		
	Раздел 3. Элементы математической теории оптимального управления (ОУ) и её приложений.	8	16			26		
	Тема 6. Теоретические основы и базовые задачи ОУ.	3	6			8		
	Тема 7. Простые прикладные одномерные модели и задачи ОУ на конечном времени и без фазовых ограничений.	2	4			8		
	Тема 8. Специальные модели и задачи ОУ с дополнительными условиями и ограничениями.	3	6			10		
	Итого:	18	36			63	27	экзамен

*онлайн курс ** указать часы из УП ***зачет/экзамен

III. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

Раздел I. Элементы динамического программирования (6 ч.)

Тема 1. Модель, постановка дискретной задачи динамического программирования (ДП) и метод её решения (2 час.)

Элементы и структура модели проблемы для решения методом ДП. Постановка дискретной задачи ДП. Фазовые переменные, управления, уравнения динамики процесса, траектория, графическое представление. Принцип оптимальности Беллмана, запись уравнений Беллмана для каждого периода. Общая схема решения задач ДП, прямой и обратный ход расчётов. Простейшие примеры

Тема 2. Реализация метода ДП в задачах с непрерывными переменными и функциями критериев (2 ч.)

Базовые задачи с непрерывными фазовыми и управляющими переменными, реализация метода ДП в задачах с непрерывными переменными и функциями критериев. Задачи оптимальной эксплуатации восстанавливаемых ресурсов, технологического оборудования и

инвестирования производств. Прямой вывод аналитической формы функций Беллмана и функций управления. Расчёт величин в процедурах прямой и обратной итераций. Формулировки математических и экономических смыслов всех функций и величин. Зависимость решений от параметров и начальных данных.

Тема 3. Реализация метода ДП в задачах с дискретными переменными и табличными функциями критериев (2 ч.)

Базовые задачи с дискретными фазовыми и управляющими переменными, особенности реализации метода ДП в задачах с дискретными переменными и функциями критериев, заданных таблично. Задачи оптимального инвестирования предприятий, алгоритмы решения. Постановки задач оптимальной эксплуатации оборудования с табличными функциями, различные критерии оптимальности и способы задания условий. Схема решения задачи оптимальной эксплуатации оборудования методом ДП. Случай задания условий и критериев в виде смешанных функций. Графические формы задач, решаемых методом ДП. Задачи об оптимальной схеме продажи экономического актива и решение её методом ДП, аналоги функций Беллмана в стохастической среде, критерии с математическим ожиданием. Запись управлений и соответствующих траекторий. Анализ зависимости от параметров задачи.

Раздел II. Элементы вариационного исчисления (ВИ) в оптимизации экономических процессов (4 ч.)

Тема 4. Теоретические основы и аппарат вариационного исчисления (2 час.)

Основные классы функций в задачах ВИ. Пространства функций, базовые нормы и метрики. «Слабые» и «сильные» окрестности функций. Интегральный функционал, виды локальных и глобальных экстремумов. Постановка простейших краевых задач ВИ с закреплёнными концами. Проблема существования решения в пространстве гладких функций, примеры,

оптимизирующие последовательности и супремумы. Приращения и вариации функционалов, аналоги производных по направлению. Дифференциалы Фреше и Гато. Вывод необходимых условий решения в виде уравнений Эйлера. Различные случаи уравнений Эйлера, первые интегралы уравнения. Условия трансверсальности на концах кривой. Вариации второго порядка, достаточные условия Лежандра – Якоби. Роль условий выпуклости.

Тема 5. Базовые примеры прикладных оптимизационных моделей и задач, решаемых методами ВИ (2 час.)

Задача Дидоны, запись и решение. Задача о брахистохроне как начало оптимального управления, постановка и решение с помощью уравнения Эйлера, нарушение условий гладкости, построение циклоиды. Примеры и решения прикладных задач ВИ с экономическим содержанием. Задача об оптимальном управлении капиталом и сбережениями в национальной экономике с классическими функциями полезности и производственной функцией на конечном интервале времени, и с дисконтированием. Задачи динамической оптимизации работы фирмы. Задача оптимальной динамики монополистического производства при разных зависимостях между спросом и предложением. Задачи ВИ в макро моделях Гудвина и Хаавельмо. Условия трансверсальности при разных реальных терминальных условиях. Задачи ВИ экономического роста со свободным концом, случаи отсутствия решений. Задача оптимального времени эксплуатации не возобновляемого природного ресурса, экономический смысл условий Эйлера.

Раздел III. Элементы математической теории оптимального управления (ОУ) и её приложений (8 час.)

Тема 6. Теоретические основы и базовые задачи ОУ (3 ч.)

Общая постановка задачи ОУ, целевой интегральный функционал, система дифференциальных уравнений (ДУ) с управлениями; классы используемых функций для управлений. Траектория, начальные и терминальные условия. Множества достижимости. Сведение задачи ВИ к задаче ОУ, преимущества аппарата ОУ по сравнению с ВИ. Принцип

максимума Понтрягина (ПМП) для основных задач ОУ, его структура и алгоритмы применения; гамильтониан и сопряжённые переменные, сопряжённая система уравнений. Условия трансверсальности в базовых задачах. Постановки основных задач ОУ, задачи с линейными системами ДУ, примеры решений. Задача быстрогодействия, пример, синтез траекторий, фазовые диаграммы траекторий. Задачи ОУ с фазовыми ограничениями, лагранжианы для ограничений. Использование непрерывного варианта ДП для решения задач ОУ, трудности применения.

Тема 2. Простые прикладные одномерные модели и задачи ОУ на конечном времени и без фазовых ограничений (3 ч.)

Простейшая модель и задача ОУ потребления на конечном интервале с закреплёнными концами. Оптимальные режимы потребления. Модели поведения потребителя с ограничениями на управление. Синтез оптимальных управлений в одномерных задачах со свободным концом, картина допустимых фазовых траекторий. Динамическая модель потребителя, максимизирующего дисконтированную полезность выбором режима инвестирования в разные активы, учёт граничных и терминальных условий. Запись и учёт условий трансверсальности. Канонические неоклассические односекторные модели оптимального экономического роста типа Рамсея, разные экзогенные факторы и параметры. Роль свойств вогнутости гамильтониана. Модель и задача оптимального управления запасами произведённых товаров. Маркетинговая модель Нелава - Эрроу оптимальной рекламной деятельности фирмы, управление брендовым капиталом. Модель оптимизации рекламы Видала – Вольфа . Одномерные модели управления лесными ресурсами, вырубко и посадки саженцев. Содержательные модели управления исчерпаемыми ресурсами. Модели оптимального регулирования эпидемий. Базовая модель и оптимальное регулирование загрязнением среды отходами производства.

Тема 3. Специальные модели и задачи ОУ с дополнительными условиями и ограничениями (2 ч.)

Оптимальное потребление в двухсекторной модели экономического роста Рамсея при ограничении на величину сбережений, подробная схема решения, построение фазового портрета. Задачи ОУ в динамической модели олигополии Курно. Задачи ценовой конкуренции в дуополии. Модель оптимального регулирования загрязнения среды производственными отходами в дуополии. Финансовая модель оптимального регулирования потока наличных средств фирмы. Классические модели экономического роста в двухсекторных экономиках и производствах. Специфика решения задач ОУ на бесконечном горизонте управления. Горизонты решений и прогнозирования, ограниченность складских возможностей. Задачи ОУ с неопределённой длиной периода планирования, минимизация времени процесса. Задачи с фазовыми ограничениями, простейшая модель управления запасами магазина.

IV. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ ЧАСТИ КУРСА

Лабораторные занятия (36 часов).

Занятие 1. Задачи на усвоение базовых элементов математических моделей и задач динамического программирования (2 часа).

1. Простые примеры построения моделей ДП по первичному описанию производственной проблемы, определение искомым переменных и параметров.
2. Формулировка оптимизационной задачи ДП. Построение целевой функции проблемного процесса.
3. Составление и запись динамических уравнений процесса. Расчёт траектории процесса для заданных управлений, графическое изображение.
4. Максимизация непрерывных функций в зависимости от параметров.
5. Примеры сведения статических задач оптимизации к динамическим задачам ДП.
6. Решение простейших задач ДП. Запись уравнений Беллмана.

Занятие 2. Реализация метода ДП в задачах с непрерывными переменными и функциями критериев (6час.)

1. Задачи оптимальной эксплуатации восстанавливаемых лесных ресурсов: моделирование, формулировка задачи ДП. Построение целевой функции и уравнений динамики.
2. Реализация обратной схемы итерации, решение уравнений Беллмана.
3. Аналитическое нахождение всех функций Беллмана.
4. Прямые итерации: нахождение оптимальных управлений и траектории.
5. Задачи оптимальной эксплуатации технологического оборудования, постановки и моделирование в разных условиях.
6. Решения задач оптимальной эксплуатации оборудования методом ДП.
7. Задачи оптимального инвестирования производств, случай двух отраслей.
8. Формулировки математических и экономических смыслов всех функций и величин.
9. Выдача и обсуждение ИДЗ № 1.

Занятие 3. Решение задач ДП с дискретными переменными и табличными функциями критериев (4 час.)

1. Задачи оптимального инвестирования нескольких предприятий, алгоритмы решения. Случаи немонотонных функций отдачи.
2. Задачи оптимальной эксплуатации оборудования с табличными функциями затрат, различные критерии оптимальности и способы задания условий.
3. Графическое представление схемы решения уравнений и нахождения функций Беллмана.
4. Задачи об оптимальной схеме продажи экономического актива и решение её методом ДП.
5. Аналоги функций Беллмана в стохастической среде, критерии с математическим ожиданием результата.
6. Выдача и обсуждение ИДЗ № 2.

Занятие 4. Теоретические основы и аппарат вариационного исчисления (4 час.)

1. Примеры пространств функций в задачах ВИ.
2. Вычисление базовые норм и метрик функций.
3. «Слабые» и «сильные» окрестности функций.
4. Запись и вычисление интегральных функционалов.
5. Примеры и виды локальных и глобальных экстремумов.
6. Постановка простейших краевых задач ВИ с закреплёнными концами.
7. Примеры отсутствия решений, оптимизирующие последовательности и супремумы.
8. Приращения и вариации функционалов, аналоги производных по направлению.
9. Уравнения Эйлера, различные случаи, первые интегралы уравнения.
10. Условия трансверсальности на концах кривой.
11. Условия Лежандра – Якоби. Роль условий выпуклости.

Занятие 5. Базовые примеры прикладных оптимизационных моделей и задач, решаемых методами ВИ (4 час.)

1. Задача Дидоны, решение.
2. Задача о брахистохроне: постановка, решение уравнения Эйлера, построение циклоиды по краевым условиям.
3. Задача об оптимальном управлении капиталом и сбережениями в с классическими функциями полезности и производственной функцией на конечном времени, и с дисконтированием.
4. Задачи динамической оптимизации работы фирмы.
5. Задача оптимальной динамики монополистического производства при разных зависимостях между спросом и предложением.
6. Задачи ВИ в макро моделях Гудвина и Хаавельмо.
7. Задачи ВИ экономического роста со свободным концом, случаи отсутствия решений.

8. Задача оптимального времени эксплуатации не возобновляемого природного ресурса, экономический смысл условий Эйлера.

Занятие 6. Контрольная работа по темам ДП и ВИ (2 час.)

Решение простейших задач ДП с непрерывными и табличными функциями. Вывод и запись функций Беллмана. Решение задач ВИ с использованием уравнений Эйлера.

Занятие 7. Отработка теоретических основ и базовых элементов ОУ (6 час.)

1. Построение траекторий систем линейных ДУ с заданным кусочно-постоянными управлениями.
2. Примеры построения фазовых портретов простейших систем ДУ.
3. Общая постановка основных задач ОУ, целевой интегральный функционал.
4. Примеры и понятие множеств достижимости задачи ОУ.
5. Траектория, начальные и терминальные условия. Допустимые управления и фазовые ограничения.
6. Множества достижимости.
7. Сведение задач ВИ к задачам ОУ, преимущества аппарата ОУ по сравнению с ВИ.
8. Формулировка принцип максимума Понтрягина (ПМП) для основных задач ОУ, его элементы, структура и алгоритмы применения.
9. Решение простейших задач ОУ, задачи с линейными системами ДУ, гамильтониан и сопряжённые переменные, сопряжённая система уравнений.
10. Условия трансверсальности в базовых задачах.
11. Простейшая задача быстрогодействия, пример, синтез траекторий, фазовые диаграммы траекторий.
12. Задачи ОУ с фазовыми ограничениями, лагранжианы для ограничений.
13. Выдача ИДЗ № 4.

Занятие 8. Простые прикладные одномерные модели и задачи ОУ на конечном времени и без фазовых ограничений (6 час.)

1. Простейшая модель и задача ОУ потребления на конечном интервале с закреплёнными концами. Оптимальные режимы потребления.
2. Модели поведения потребителя с ограничениями на управление. Синтез оптимальных управлений в одномерных задачах со свободным концом, картина допустимых фазовых траекторий.
3. Динамическая модель, максимизации дисконтированной полезности выбором режима инвестирования в разные активы, учёт граничных условий.
4. Канонические неоклассические односекторные модели оптимального экономического роста типа Рамсея, разные экзогенные факторы и параметры.
5. Модель и задача оптимального управления запасами произведённых товаров.
6. Одномерные модели управления лесными ресурсами, вырубка и посадки саженцев.
7. Содержательные модели управления исчерпаемыми ресурсами.
8. Модели оптимального регулирования эпидемий.
9. Базовая модель и оптимальное регулирование загрязнением среды отходами производства.
10. Достаточные условия оптимальности и роль свойств вогнутости гамильтониана.

Занятие 9. Специальные модели и задачи ОУ с дополнительными условиями и ограничениями (4 час.)

1. Оптимальное потребление в двухсекторной модели экономического роста Рамсея при ограничении на величину сбережений, подробная схема решения, построение фазового портрета.
2. Двумерные динамические модели производственной политики фирмы.
3. Модель оптимального регулирования загрязнения среды производственными отходами в дуополии.
4. Финансовая модель оптимального регулирования денежного потока фирмы.

5. Двумерная модель оптимального управления активами и распределением прибыли в акционерной компании.

6. Специфика решения задач ОУ на бесконечном горизонте управления.

8. Задачи ОУ с неопределённой длиной периода планирования, минимизация времени процесса.

9. Задачи с фазовыми ограничениями, простейшая модель управления запасами магазина.

V. КОНТРОЛЬ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ КУРСА

№ п/п	Контролируемые разделы / темы дисциплины	Код и наименование индикатора достижения	Результаты обучения	Оценочные средства *	
				текущий контроль	Промежуточная аттестация
1	Раздел №1 Элементы динамического программирования. Темы № 1 – 3.	ПК-1.1 - Способен выбрать, использовать и формулировать математические и инструментальные методы при решении теоретических и прикладных задач. ПК-1.3 - Способен применять системный подход и естественно-научные методы в формализации решения прикладных задач сделать прогноз. ПК-2.3- Способен находить организационно-управленческие решения.	Знает основы теории динамического программирования. Умеет моделировать и ставить задачи ДП для последующего решения. Записывать и решать уравнения Беллмана. Владеет методами ДП решения типичных задач динамической оптимизации, решаемых с помощью ДП.	ПР-2 №1, ПР-12 №1, ПР-7. ПР-11	Вопросы к экзамену № 1-13
	Раздел №2 Элементы вариационного исчисления (ВИ) в оптимизации экономических процессов. Темы № 4 – 5.	ПК-1.1 - Способен выбрать, использовать и формулировать математические и инструментальные методы при решении теоретических и прикладных задач. ПК-1.3 - Способен применять системный подход и естественно-научные методы в формализации	Знает теоретические основы вариационного исчисления. Умеет решать типовые и базовые задачи ВИ, записывать и решать условия Эйлера. Владеет навыками модельного сведения экономических проблем к типовым	ПР-2 №1, ПР-7, ПР-11, ПР-12 №1.	Вопросы к экзамену № 14-21

		решения прикладных задач сделать прогноз. ПК-2.3- Способен находить организационно-управленческие решения.	задачам ВИ. С последующим их решениям методами ВИ.		
	Раздел 3. Элементы математической теории оптимального управления (ОУ) и её приложений. Темы № 6-8.	ПК-1.1 - Способен выбрать, использовать и формулировать математические и инструментальные методы при решении теоретических и прикладных задач. ПК-1.3 - Способен применять системный подход и естественно-научные методы в формализации решения прикладных задач сделать прогноз. ПК-2.3- Способен находить организационно-управленческие решения.	Знает основы математического оптимального управления. Умеет формулировать простые задачи ОУ для моделирования и оптимизации производственных процессов. И записывать необходимые условия принципа Максимума. Владеет навыками анализа и решения простых задач ОУ.	ПР-2 №2, ПР-7, ПР-11, ПР-12 №2.	Вопросы к экзамену № 22-33
	Экзамен			-	УО-1, ПР-2

* Рекомендуемые формы оценочных средств: 1) собеседование (УО-1), коллоквиум (УО-2); 2) технические средства контроля (ТС); 3) письменные работы (ПР): тесты (ПР-1), контрольные работы (ПР-2), эссе (ПР-3), рефераты (ПР-4), курсовые работы (ПР-5), научно-учебные отчеты по практикам (ПР-6).и т.п. (список может быть дополнен в соответствии со спецификой ОПОП и внутренней нормативной документацией ДВФУ).

VI. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Самостоятельная работа определяется как индивидуальная или коллективная учебная деятельность, осуществляемая без непосредственного руководства педагога, но по его заданиям и под его контролем. Самостоятельная работа – это познавательная учебная деятельность, когда последовательность мышления студента, его умственных и практических операций и действий зависит и определяется самим студентом.

Самостоятельная работа студентов способствует развитию самостоятельности, ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального уровня, что в

итоге приводит к развитию навыка самостоятельного планирования и реализации деятельности.

Целью самостоятельной работы студентов является овладение необходимыми компетенциями по своему направлению подготовки, опытом творческой и исследовательской деятельности.

Формы самостоятельной работы студентов:

- работа с основной и дополнительной литературой, Интернет ресурсами;
- самостоятельное ознакомление с лекционным материалом, представленным на электронных носителях, в библиотеке образовательного учреждения;
- подготовка реферативных обзоров источников периодической печати, опорных конспектов, заранее определенных преподавателем;
- поиск информации по теме, с последующим ее представлением в аудитории в форме доклада, презентаций;
- подготовка к выполнению аудиторных контрольных работ;
- выполнение домашних контрольных работ;
- выполнение тестовых заданий, решение задач;
- составление кроссвордов, схем;
- подготовка сообщений к выступлению на семинаре, конференции;
- заполнение рабочей тетради;
- написание эссе, курсовой работы;
- подготовка к деловым и ролевым играм;
- составление резюме;
- подготовка к зачетам и экзаменам;
- другие виды деятельности, организуемые и осуществляемые образовательным учреждением и органами студенческого самоуправления.

VII. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ И ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература

1. Бессмертный, И.А. Интеллектуальные системы: учебник и практикум для академического бакалавриата / И.А. Бессмертный, А.Б. Нугуманова, А.В. Платонов. – М.: Издательство Юрайт, 2019. – 243 с. – (Бакалавр. Академический курс). – ISBN 978-5-534-01042-8. – Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/433716>
2. Интеллектуальные системы [Электронный ресурс]: учебное пособие/ А.М. Семенов [и др.]. – Электрон. текстовые данные. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ, 2022. – 236 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/30055.html>. – ЭБС «IPRbooks»
3. Кудрявцев, В.Б. Интеллектуальные системы: учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры / В.Б. Кудрявцев, Э.Э. Гасанов, А.С. Подколзин. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2018. – 219 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-00918-7. – Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/414573>
4. Платонов, А.В. Машинное обучение: учебное пособие для вузов / А.В. Платонов. – М.: Издательство Юрайт, 2022. – 85 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-15561-7. – Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/508804>

Дополнительная литература

1. Алексеева, М.Б. Теория систем и системный анализ: учебник и практикум для вузов / М.Б. Алексеева, П.П. Ветренко. – М.: Издательство Юрайт, 2022. – 304 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-00636-0. – Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/489572>
2. Воронов, М.В. Системы искусственного интеллекта: учебник и практикум для вузов / М.В. Воронов, В.И. Пименов, И.А. Небаев. – М.: Издательство Юрайт, 2022. – 256 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-

534-14916-6. – Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/485440>

3. Системный анализ: учебник и практикум для вузов / В.В. Кузнецов [и др.]; под общ. ред. В.В. Кузнецова. – М.: Издательство Юрайт, 2022. – 270 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-9916-8591-7. – Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/490660>

4. Чернышев, С.А. Основы программирования на Python: учебное пособие для вузов / С.А. Чернышев. – М.: Издательство Юрайт, 2022. – 286 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-14350-8. – Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/496893>

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. Электронная библиотека и базы данных ДВФУ .
<http://dvfu.ru/web/library/elib>
2. Электронно-библиотечная система «Лань» <http://e.lanbook.com>
3. Электронно-библиотечная система «Научно-издательского центра ИНФРА-М» <http://znanium.com>
4. Электронно-библиотечная система БиблиоТех.
<http://www.bibliotech.ru>
5. Электронный каталог научной библиотеки ДВФУ <http://ini-fb.dvfu.ru:8000/cgi-bin/gw/chameleon>
6. Научная библиотека КиберЛенинка: <http://cyberleninka.ru/>

Перечень информационных технологий и программного обеспечения

1. Microsoft Word
2. Microsoft Excel
3. Microsoft PowerPoint
4. КонсультантПлюс / Гарант

5. Microsoft Internet Explorer/ Mozilla Firefox/ Opera

VIII. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Успешное освоение дисциплины предполагает активную работу студентов на всех занятиях аудиторной формы: лекциях и практиках, выполнении аттестационных мероприятий. В процессе изучения дисциплины студенту необходимо ориентироваться на проработку лекционного материала, подготовку к практическим занятиям, выполнение контрольных работ, домашних и индивидуальных расчётно – графических заданий.

Освоение дисциплины предполагает рейтинговую систему оценки знаний студентов и предусматривает со стороны преподавателя текущий контроль за посещением студентами лекций, подготовкой и выполнением всех практических заданий, выполнением всех видов самостоятельной работы.

Промежуточной аттестацией по дисциплине «Линейная алгебра» является экзамен.

Студент считается аттестованным по дисциплине при условии выполнения всех видов текущего контроля и самостоятельной работы, предусмотренных учебной программой.

Шкала оценивания сформированности образовательных результатов по дисциплине представлена в фонде оценочных средств (ФОС).

IX. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ

Учебные занятия по дисциплине проводятся в помещениях, оснащенных соответствующим оборудованием и программным обеспечением.

Перечень материально-технического и программного обеспечения дисциплины приведен в таблице.

Материально-техническое и программное обеспечение дисциплины

Наименование специальных помещений и помещений	Оснащенность специальных помещений	Перечень лицензионного программного обеспечения.
--	------------------------------------	--

для самостоятельной работы	и помещений для самостоятельной работы	Реквизиты подтверждающего документа
Любая Лекционная аудитория с мультимедийным оборудованием	Мультимедийное оборудование.	Microsoft Office 365, Microsoft Teams.

X. ФОНДЫ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонды оценочных средств представлены в приложении.