

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

**Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования "Пермский
государственный национальный исследовательский
университет"**

Кафедра информационных систем и математических методов в экономике

**Авторы-составители: Симонов Петр Михайлович
Максимов Владимир Петрович
Мулюков Михаил Вадимович**

Рабочая программа дисциплины
ТЕОРИЯ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ
Код УМК 76414

Утверждено
Протокол №9
от «21» мая 2019 г.

Пермь, 2019

1. Наименование дисциплины

Теория оптимального управления

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина входит в вариативную часть Блока « Б.1 » образовательной программы по направлениям подготовки (специальностям):

Направление: **01.03.02** Прикладная математика и информатика

направленность Математическое моделирование и информационные технологии в бизнесе

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

В результате освоения дисциплины **Теория оптимального управления** у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

01.03.02 Прикладная математика и информатика (направленность : Математическое моделирование и информационные технологии в бизнесе)

ПК.2 способность понимать, совершенствовать и применять современный математический аппарат

4. Объем и содержание дисциплины

Направления подготовки	01.03.02 Прикладная математика и информатика (направленность: Математическое моделирование и информационные технологии в бизнесе)
форма обучения	очная
№№ триместров, выделенных для изучения дисциплины	10
Объем дисциплины (з.е.)	4
Объем дисциплины (ак.час.)	144
Контактная работа с преподавателем (ак.час.), в том числе:	56
Проведение лекционных занятий	28
Проведение практических занятий, семинаров	28
Самостоятельная работа (ак.час.)	88
Формы текущего контроля	Входное тестирование (1) Итоговое контрольное мероприятие (1) Письменное контрольное мероприятие (2)
Формы промежуточной аттестации	Экзамен (10 триместр)

5. Аннотированное описание содержания разделов и тем дисциплины

Теория оптимального управления.

Краткая историческая справка по экстремальным задачам. Примеры задач оптимального управления одноотраслевой экономикой. Общая постановка задач оптимизации. Решение задачи оптимального управления одноотраслевой экономикой прямым методом. Обсуждение результатов. Задачи классического вариационного исчисления. Постановка, определение решения, слабый экстремум, сильный экстремум. Общая идея метода вариаций. Необходимое условие локального экстремума в простейшей задаче вариационного исчисления. Лемма Дюбуа-Реймона. Уравнение Эйлера, экстремали. Вариационная задача с общими линейными краевыми условиями. Вариационная задача с запаздывающим аргументом. Задача Больца. Условия трансверсальности. Принцип максимума Понтрягина. Формулировка, доказательство методом игольчатых вариаций. Применение принципа максимума Понтрягина к задаче оптимального управления одноотраслевой экономикой. Зависимость момента переключения от параметров задачи. Достаточные условия оптимальности в задачах оптимального управления. Основная теорема и ее доказательство. Модифицированная теорема о достаточных условиях оптимальности, построение минимизирующих последовательностей. Задачи, линейные по управлению. Задача оптимального управления для нелинейной макроэкономической модели. Условие магистрального развития. Задачи оптимального управления для процессов с дискретным временем. Метод Гамильтона-Беллмана. Непрерывный и дискретный случаи. Применение к задаче оптимизации инвестиционного процесса.

Тема 1. Введение в экстремальные задачи.

Краткая историческая справка по экстремальным задачам. Примеры задач оптимального управления одноотраслевой экономикой. Общая постановка задач оптимизации. Решение задачи оптимального управления одноотраслевой экономикой прямым методом. Обсуждение результатов.

Тема 2. Задачи вариационного исчисления

Задачи классического вариационного исчисления. Постановка, определение решения, слабый экстремум, сильный экстремум. Общая идея метода вариаций. Необходимое условие локального экстремума в простейшей задаче вариационного исчисления. Лемма Дюбуа-Реймона. Уравнение Эйлера, экстремали. Вариационная задача с общими линейными краевыми условиями. Вариационная задача с запаздывающим аргументом. Задача Больца. Условия трансверсальности.

Тема 3. Принцип максимума Понтрягина

Принцип максимума Понтрягина. Формулировка, доказательство методом игольчатых вариаций. Применение принципа максимума Понтрягина к задаче оптимального управления одноотраслевой экономикой. Зависимость момента переключения от параметров задачи.

Тема 4. Достаточные условия оптимальности

Достаточные условия оптимальности в задачах оптимального управления. Основная теорема и ее доказательство. Модифицированная теорема о достаточных условиях оптимальности, построение минимизирующих последовательностей. Задачи, линейные по управлению.

Тема 5. Задача оптимального управления для нелинейной макроэкономической модели

Задача оптимального управления для нелинейной макроэкономической модели. Условие магистрального развития.

Тема 6. Задача оптимального управления для процессов с дискретным временем

Задачи оптимального управления для процессов с дискретным временем.

Тема 7. Метод Гамильтона-Беллмана

Метод Гамильтона-Беллмана. Непрерывный и дискретный случаи. Применение к задаче оптимизации инвестиционного процесса.

Подготовка к итоговой аттестации по дисциплине.

Подготовка к итоговой аттестации по дисциплине. Краткая историческая справка по экстремальным задачам. Примеры задач оптимального управления одноотраслевой экономикой. Общая постановка задач оптимизации. Решение задачи оптимального управления одноотраслевой экономикой прямым методом. Обсуждение результатов. Задачи классического вариационного исчисления. Постановка, определение решения, слабый экстремум, сильный экстремум. Общая идея метода вариаций. Необходимое условие локального экстремума в простейшей задаче вариационного исчисления. Лемма Дюбуа-Реймона. Уравнение Эйлера, экстремали. Вариационная задача с общими линейными краевыми условиями. Вариационная задача с запаздывающим аргументом. Задача Больца. Условия трансверсальности. Принцип максимума Понтрягина. Формулировка, доказательство методом игольчатых вариаций. Применение принципа максимума Понтрягина к задаче оптимального управления одноотраслевой экономикой. Зависимость момента переключения от параметров задачи. Достаточные условия оптимальности в задачах оптимального управления. Основная теорема и ее доказательство. Модифицированная теорема о достаточных условиях оптимальности, построение минимизирующих последовательностей. Задачи, линейные по управлению. Задача оптимального управления для нелинейной макроэкономической модели. Условие магистрального развития. Задачи оптимального управления для процессов с дискретным временем. Метод Гамильтона-Беллмана. Непрерывный и дискретный случаи. Применение к задаче оптимизации инвестиционного процесса.

6. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Освоение дисциплины требует систематического изучения всех тем в той последовательности, в какой они указаны в рабочей программе.

Основными видами учебной работы являются аудиторские занятия. Их цель - расширить базовые знания обучающихся по осваиваемой дисциплине и систему теоретических ориентиров для последующего более глубокого освоения программного материала в ходе самостоятельной работы. Обучающемуся важно помнить, что контактная работа с преподавателем эффективно помогает ему овладеть программным материалом благодаря расстановке необходимых акцентов и удержанию внимания интонационными модуляциями голоса, а также подключением аудио-визуального механизма восприятия информации.

Самостоятельная работа преследует следующие цели:

- закрепление и совершенствование теоретических знаний, полученных на лекционных занятиях;
- формирование навыков подготовки текстовой составляющей информации учебного и научного назначения для размещения в различных информационных системах;
- совершенствование навыков поиска научных публикаций и образовательных ресурсов, размещенных в сети Интернет;
- самоконтроль освоения программного материала.

Обучающемуся необходимо помнить, что результаты самостоятельной работы контролируются преподавателем во время проведения мероприятий текущего контроля и учитываются при промежуточной аттестации.

Обучающимся с ОВЗ и инвалидов предоставляется возможность выбора форм проведения мероприятий текущего контроля, альтернативных формам, предусмотренным рабочей программой дисциплины. Предусматривается возможность увеличения в пределах 1 академического часа времени, отводимого на выполнение контрольных мероприятий.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

При проведении текущего контроля применяются оценочные средства, обеспечивающие передачу информации, от обучающегося к преподавателю, с учетом психофизиологических особенностей здоровья обучающихся.

7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

При самостоятельной работе обучающимся следует использовать:

- конспекты лекций;
- литературу из перечня основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля);
- текст лекций на электронных носителях;
- ресурсы информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимые для освоения дисциплины;
- лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение из перечня информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине;
- методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

Основная:

1. Максимов В. П. Современные математические методы в экономике : Задачи управления и краевые задачи для линейных систем: учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению подготовки магистров "Прикладная математика и информатика"/В. П. Максимов.-Пермь,2014, ISBN 978-5-7944-2406-5.-1.-Библиогр.: с. 148-151 <https://elis.psu.ru/node/348777>
2. Лутманов С. В. Элементы выпуклого анализа и методы оптимизации: учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению подготовки магистров "Механика и математическое моделирование»/С. В. Лутманов.-Пермь:Пермский государственный национальный исследовательский университет,2018, ISBN 978-5-7944-3114-8.-1.-Библиогр.: с. 180 <https://elis.psu.ru/node/507855>
3. Максимов В. П. Теория оптимального управления: вводный курс лекций: учебное пособие/В. П. Максимов.-Пермь:ПГНИУ,2018, ISBN 978-5-7944-3068-4.-84.-Библиогр.: с. 69 <https://elis.psu.ru/node/511095>

Дополнительная:

1. Симонов П. М. Теория оптимального управления. учебное пособие для студентов вузов Ч. 1. Элементы функционального анализа. Элементы теории меры и интеграла Лебега. Гильбертовы пространства/П. М. Симонов ; Федеральное агентство по образованию, Пермский государственный университет.- Пермь,2009, ISBN 978-5-7944-1387-8.-155
2. Максимов В. П., Симонов П. М. Теория оптимального управления: задачи и упражнения: учебно-методические материалы/В. П. Максимов, П. М. Симонов.-Пермь,2012.-40.
3. Арутюнов А. В., Магарил-Ильяев Г. Г., Тихомиров В. М. Принцип максимума Понтрягина. Доказательство и приложения: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальностям "010101 Математика", "010200 Прикладная математика и информатика", и по направлению "510200 Прикладная математика и информатика"/А. В. Арутюнов, Г. Г. Магарил-Ильяев, В. М. Тихомиров.- Москва:Факториал Пресс,2006, ISBN 5-88688-082-8.-144.-Библиогр.: с. 139-142
4. Максимов В. П. Теория оптимального управления. учебное пособие для студентов, обучающихся по специальности 061800 - "Математические методы в экономике" Ч. 2. Элементы теории линейных операторов и операторных уравнений/В. П. Максимов, П. М. Симонов ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Пермский государственный университет.-Пермь,2010, ISBN 978-5-7944-1528-5.-80.-Библиогр.: с. 79

9. Перечень ресурсов сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%BF%D1%82%D0%B8%D0%BC%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D1%83%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5 Теория оптимального управления. Первый семестр

http://www.pereplet.ru/nauka/Soros/pdf/9706_121.pdf,

www.itmm.unn.ru/files/2016/09/МО_pmi_opt.pdf, www.opmath.spbu.ru./ru/staff/nogin_u12.pdf,

www.nto.immpu.sgu.ru/sites/default/files/3/___54992.pdf, <https://mipt.ru/dcam/students/book/etude>

Теория оптимального управления. Первый семестр.

Введение в экстремальные задачи

https://books.google.ru/books?id=7Q_8AgAAQBAJ&pg=PA11&lpg=PA11&dq=%D0%92%D0%B2%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5+%D0%B2+%D1%8D%D0%BA%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B5%D0%BC%D0%B0%D0%BB%D1 Введение в экстремальные задачи

<http://mathhelpplanet.com/static.php?p=primery-variatsionnyh-zadach> Задачи вариационного исчисления

<https://www.youtube.com/watch?v=VQeHHI5raiw> Принцип максимума Понтрягина

http://edu.alnam.ru/book_v_tau2.php?id=88 Достаточные условия оптимальности

http://asu.ugatu.ac.ru/library/146/kniga___optimal_noe_upravlenie_v_ekonomike__avtor__b.a._lagosh_a_.pdf Задача оптимального управления для нелинейной макроэкономической модели

https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%BF%D1%82%D0%B8%D0%BC%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D1%83%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5 Задача оптимального управления для процессов с дискретным временем

https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A3%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BD%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_%D0%93%D0%B0%D0%BC%D0%B8%D0%BB%D1%8C%D1%82%D0%BE%D0%BD%D0%B0_%E2%80%94_%D0%AF%D0%BA%D0%BE%D0%B1%D0%B8_%E2%80%94_%D0%91%D0%B5%D0%BB%D0%BB%D0%BC%D0%B0%D0%BD Метод Гамильтона-Беллмана

https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%BF%D1%82%D0%B8%D0%BC%D0%B0%D0%BB%D1%8C%D0%BD%D0%BE%D0%B5_%D1%83%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5 Подготовка к итоговой аттестации по дисциплине

10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Образовательный процесс по дисциплине **Теория оптимального управления** предполагает использование следующего программного обеспечения и информационных справочных систем:

- презентационные материалы (слайды по темам лекционных и практических занятий);
- доступ в режиме on-line в Электронную библиотечную систему (ЭБС);
- доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.

Перечень необходимого лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения:

1. ПО Maplesoft Maple 26.12.21 (Система компьютерной алгебры MAPLE),

2. ПО Maplesoft Maple 15 26.12.21,
3. ПО Maple V Release 4 (свободное ПО),
4. Форсайт. Аналитическая платформа (свободное ПО).

Интернет-сервисы и электронные ресурсы:

http://www.tstu.ru/book/elib/pdf/2007/k_Gromov4.pdf;

<http://www.zyev.science/seminar/control.pdf>;

<http://www.apmath.spbu.ru/staff/nogin/publ/publ5.pdf>

При освоении материала и выполнения заданий по дисциплине рекомендуется использование материалов, размещенных в Личных кабинетах обучающихся ЕТИС ПГНИУ (**student.psu.ru**).

При организации дистанционной работы и проведении занятий в режиме онлайн могут использоваться:

система видеоконференцсвязи на основе платформы BigBlueButton (<https://bigbluebutton.org/>).

система LMS Moodle (<http://e-learn.psu.ru/>), которая поддерживает возможность использования текстовых материалов и презентаций, аудио- и видеоконтент, а так же тесты, проверяемые задания, задания для совместной работы.

система тестирования Indigo (<https://indigotech.ru/>).

11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

В учебном процессе для изучения дисциплины "Теория оптимального управления" для проведения лекционных и практических занятий требуется аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

Для самостоятельной работы требуется компьютерный класс с соответствующим программным обеспечением. Состав оборудования определен в Паспорте компьютерного класса, а так же помещения Научной библиотеки ПГНИУ.

Для текущего контроля и промежуточной аттестации требуется аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

Индивидуальные и групповые консультации - аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

Помещения научной библиотеки ПГНИУ для обеспечения самостоятельной работы обучающихся:

1. Научно-библиографический отдел, корп.1, ауд. 142. Оборудован 3 персональными компьютера с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

2. Читальный зал гуманитарной литературы, корп. 2, ауд. 418. Оборудован 7 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

3. Читальный зал естественной литературы, корп.6, ауд. 107а. Оборудован 5 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

4. Отдел иностранной литературы, корп.2 ауд. 207. Оборудован 1 персональным компьютером с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

5. Библиотека юридического факультета, корп.9, ауд. 4. Оборудована 11 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

6. Читальный зал географического факультета, корп.8, ауд. 419. Оборудован 6 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

Все компьютеры, установленные в помещениях научной библиотеки, оснащены следующим программным обеспечением:

Операционная система ALT Linux;

Офисный пакет Libreoffice.

Справочно-правовая система «КонсультантПлюс»

**Фонды оценочных средств для аттестации по дисциплине
Теория оптимального управления**

**Планируемые результаты обучения по дисциплине для формирования компетенции и
критерии их оценивания**

Компетенция	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
<p>ПК.2 способность понимать, совершенствовать и применять современный математический аппарат</p>	<p>Способность понимать, совершенствовать и применять современный математический аппарат при исследовании задач оптимального управления в сфере математического моделирования и информационных технологий в бизнесе. Знать: основные типы задач (простейшая задача вариационного исчисления, задача оптимального управления со свободным правым концом траектории, задача о максимизации интегрального потребления в линейной и нелинейной постановке, задача синтеза оптимального управления). Уметь: применять основные методы решения, основанные на использовании уравнения Эйлера, принципа максимума Понтрягина, основной теоремы о достаточных условиях оптимальности, метод Гамильтона-Беллмана. Применять: полученные навыки в профессиональной деятельности.</p>	<p align="center">Неудовлетворител</p> <p>Не демонстрирует даже минимально допустимый уровень способности понимать, совершенствовать и применять современный математический аппарат при исследовании задач оптимального управления в сфере математического моделирования и информационных технологий в бизнесе. Не сформированы знания основных типов задач (простейшая задача вариационного исчисления, задача оптимального управления со свободным правым концом траектории, задача о максимизации интегрального потребления в линейной и нелинейной постановке, задача синтеза оптимального управления). Не имеет минимальных навыков в применении методов решения, основанных на использовании уравнения Эйлера, принципа максимума Понтрягина, основной теоремы о достаточных условиях оптимальности, уравнения Гамильтона-Беллмана. Не способен использовать полученные навыки в профессиональной деятельности. Уровень достижения компетенции не дает возможности продолжения обучения.</p> <p align="center">Удовлетворительн</p> <p>Демонстрирует минимально допустимый уровень способности понимать, совершенствовать и применять современный математический аппарат при исследовании задач оптимального управления в сфере математического моделирования и информационных технологий в бизнесе. В основном сформированы знания</p>

Компетенция	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;">Удовлетворительн</p> <p>основных типов задач (простейшая задача вариационного исчисления, задача оптимального управления со свободным правым концом траектории, задача о максимизации интегрального потребления в линейной и нелинейной постановке, задача синтеза оптимального управления).</p> <p>Имеет минимальные навыки в применении основных методов решения, основанных на использовании уравнения Эйлера, принципа максимума Понтрягина, основной теоремы о достаточных условиях оптимальности, уравнения Гамильтона-Беллмана.</p> <p>Способен использовать полученные навыки в профессиональной деятельности в стандартных ситуациях.</p> <p>Уровень достижения компетенции дает возможность продолжения обучения.</p> <p style="text-align: center;">Хорошо</p> <p>Уверенно демонстрирует способность понимать, совершенствовать и применять современный математический аппарат при исследовании задач оптимального управления в сфере математического моделирования и информационных технологий в бизнесе.</p> <p>Сформированы знания основных типов задач (простейшая задача вариационного исчисления, задача оптимального управления со свободным правым концом траектории, задача о максимизации интегрального потребления в линейной и нелинейной постановке, задача синтеза оптимального управления).</p> <p>Имеет навыки в применении основных методов решения, основанных на использовании уравнения Эйлера, принципа максимума Понтрягина, основной теоремы о достаточных условиях оптимальности, уравнения Гамильтона-Беллмана.</p> <p>Способен применять полученные навыки в профессиональной деятельности.</p> <p>Уровень достижения компетенции достаточен для успешного продолжения</p>

Компетенция	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;">Хорошо</p> <p>обучения.</p> <p style="text-align: center;">Отлично</p> <p>Демонстрирует в полной мере способность понимать, совершенствовать и применять современный математический аппарат при исследовании задач оптимального управления в сфере математического моделирования и информационных технологий в бизнесе.</p> <p>Сформированы уверенные знания основных типов задач (простейшая задача вариационного исчисления, задача оптимального управления со свободным правым концом траектории, задача о максимизации интегрального потребления в линейной и нелинейной постановке, задача синтеза оптимального управления).</p> <p>Имеет твердые навыки в применении основных методов решения, основанных на использовании уравнения Эйлера, принципа максимума Понтрягина, основной теоремы о достаточных условиях оптимальности, уравнении Гамильтона-Беллмана.</p> <p>Готов применять полученные навыки в профессиональной деятельности.</p> <p>Уровень достижения компетенции близок к максимальному.</p>
<p>ПК.2 способность понимать, совершенствовать и применять современный математический аппарат</p>	<p>Знать постановку типовой задачи оптимального управления.</p> <p>Уметь формулировать принцип максимума Понтрягина для задачи оптимального управления со свободным правым концом траектории, формулировать достаточные условия оптимальности.</p> <p>Владеть основными приемами решения типовых задач оптимального управления с применением принципа максимума и достаточных условий оптимальности.</p>	<p style="text-align: center;">Неудовлетворител</p> <p>Не знает постановку типовой задачи оптимального управления.</p> <p>Не умеет формулировать принцип максимума Понтрягина для задачи оптимального управления со свободным правым концом траектории, формулировать достаточные условия оптимальности.</p> <p>Не владеет основными приемами решения типовых задач оптимального управления с применением принципа максимума и достаточных условий оптимальности.</p> <p>Крайне низкий уровень достижения результата препятствует продолжению обучения.</p> <p style="text-align: center;">Удовлетворительн</p> <p>На минимально допустимом уровне знает</p>

Компетенция	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;">Удовлетворительн</p> <p>постановку типовой задачи оптимального управления. С заметными затруднениями умеет формулировать принцип максимума Понтрягина для задачи оптимального управления со свободным правым концом траектории, формулировать достаточные условия оптимальности, но допускает отдельные существенные ошибки. В целом владеет основными приемами решения типовых задач оптимального управления с применением принципа максимума и достаточных условий оптимальности, но испытывает видимые затруднения в нестандартной ситуации. Уровень достижения результата не препятствует продолжению обучения.</p> <p style="text-align: center;">Хорошо</p> <p>Знает постановку типовой задачи оптимального управления. Умеет формулировать принцип максимума Понтрягина для задачи оптимального управления со свободным правым концом траектории, формулировать достаточные условия оптимальности, но допускает отдельные несущественные ошибки. Уверенно владеет основными приемами решения типовых задач оптимального управления с применением принципа максимума и достаточных условий оптимальности и не испытывает видимые затруднения в нестандартной ситуации. Уровень достижения результата не вызывает сомнений в успешном продолжении обучения.</p> <p style="text-align: center;">Отлично</p> <p>Знает постановку типовой задачи оптимального управления и проявляет способность к ее модификации. Умеет уверенно и безошибочно формулировать принцип максимума Понтрягина для задачи оптимального управления со свободным правым концом</p>

Компетенция	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;">Отлично</p> <p>траектории, формулировать достаточные условия оптимальности. Детально владеет основными приемами решения типовых задач оптимального управления с применением принципа максимума и достаточных условий оптимальности и не испытывает затруднений в нестандартной ситуации. Способен к творческому применению полученных навыков Уровень достижения результата близок к наивысшему.</p>
<p>ПК.2 способность понимать, совершенствовать и применять современный математический аппарат</p>	<p>Знать постановку задачи о максимизации интегрального среднедушевого дисконтированного потребления с производственной функцией Кобба-Дугласа. Уметь применять к задаче достаточные условия оптимальности. Владеть основными приемами построения оптимального управления и оптимальной траектории с нахождением моментов переключения режимов функционирования рассматриваемой системы.</p>	<p style="text-align: center;">Неудовлетворител</p> <p>Не знает постановку задачи о максимизации интегрального среднедушевого дисконтированного потребления с производственной функцией Кобба-Дугласа. Не умеет применять к задаче достаточные условия оптимальности. Не владеет основными приемами построения оптимального управления и оптимальной траектории с нахождением моментов переключения режимов функционирования рассматриваемой системы. Крайне низкий уровень достижения результата препятствует продолжению обучения.</p> <p style="text-align: center;">Удовлетворительн</p> <p>На минимально допустимом уровне знает постановку задачи о максимизации интегрального среднедушевого дисконтированного потребления с производственной функцией Кобба-Дугласа. Умеет применять к задаче достаточные условия оптимальности, допускает отдельные ошибки вычислительного плана. В основном владеет приемами построения оптимального управления и оптимальной траектории с нахождением моментов переключения режимов функционирования рассматриваемой системы, но испытывает явные затруднения в их реализации.</p>

Компетенция	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;">Удовлетворительн</p> <p>Уровень достижения результата не препятствует продолжению обучения.</p> <p style="text-align: center;">Хорошо</p> <p>Знает постановку задачи о максимизации интегрального среднедушевого дисконтированного потребления с производственной функцией Кобба-Дугласа. Умеет применять к задаче достаточные условия оптимальности. Уверенно владеет основными приемами построения оптимального управления и оптимальной траектории с нахождением моментов переключения режимов функционирования рассматриваемой системы. Уровень достижения результата не вызывает сомнений в успешном продолжении обучения.</p> <p style="text-align: center;">Отлично</p> <p>Детально знает постановку задачи о максимизации интегрального среднедушевого дисконтированного потребления с производственной функцией Кобба-Дугласа. Демонстрирует способность к модификации стандартной задачи. Умеет безошибочно применять к задаче достаточные условия оптимальности. В совершенстве владеет основными приемами построения оптимального управления и оптимальной траектории с нахождением моментов переключения режимов функционирования рассматриваемой системы. Способен творчески совершенствовать известные алгоритмы. Уровень достижения результата близок к наивысшему.</p>

Оценочные средства текущего контроля и промежуточной аттестации

Схема доставки : СУОС 1

Вид мероприятия промежуточной аттестации : Экзамен

Способ проведения мероприятия промежуточной аттестации : Оценка по дисциплине в рамках промежуточной аттестации определяется на основе баллов, набранных обучающимся на контрольных мероприятиях, проводимых в течение учебного периода.

Максимальное количество баллов : 100

Конвертация баллов в отметки

«отлично» - от 81 до 100

«хорошо» - от 61 до 80

«удовлетворительно» - от 50 до 60

«неудовлетворительно» / «незачтено» менее 50 балла

Компетенция	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
Входной контроль	Тема 1. Введение в экстремальные задачи. Входное тестирование	Знать основные понятия и определения, используемые в дальнейшем в дисциплине Теория оптимального управления: понятия локальных и глобальных экстремумов, элементы теории дифференциальных уравнений, свойства отображений в пространствах с нормой. Уметь формулировать задачи на условный экстремум. Владеть основными приемами решения задач на экстремум.
ПК.2 способность понимать, совершенствовать и применять современный математический аппарат	Тема 2. Задачи вариационного исчисления Письменное контрольное мероприятие	Введение в экстремальные задачи. Знать задачи классического вариационного исчисления. Знать постановку, определение решения, слабый экстремум, сильный экстремум. Владеть методом вариаций. Уметь находить необходимое условие локального экстремума в простейшей задаче вариационного исчисления. Знать лемму Дюбуа-Реймона. Уметь решать уравнение Эйлера и находить экстремали.

Компетенция	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
<p>ПК.2 способность понимать, совершенствовать и применять современный математический аппарат</p>	<p>Тема 5. Задача оптимального управления для нелинейной макрэкономической модели Письменное контрольное мероприятие</p>	<p>Знать формулировку основных теорем о достаточных и необходимых условиях оптимальности. Уметь применять основные теоремы при решении типовых задач вариационного исчисления и оптимального управления. Владеть практическими навыками решения задач оптимального управления для систем с непрерывным временем и для систем с дискретным временем.</p>

Компетенция	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
<p>ПК.2 способность понимать, совершенствовать и применять современный математический аппарат</p>	<p>Подготовка к итоговой аттестации по дисциплине. Итоговое контрольное мероприятие</p>	<p>КМ проводится в форме подготовки ответов на теоретические вопросы из приводимого ниже списка и защиты выполненного задания по максимизации среднедушевого интегрального дисконтированного потребления для макроэкономической модели с производственной функции Кобба-Дугласа. Теоретические вопросы.</p> <p>1. Динамические модели экономики и задачи их исследования. Задачи прогнозирования, управления, оптимального управления, краевые задачи. 2. Экстремальные задачи. Краткий исторический обзор с примерами конкретных экстремальных задач. 3. Задача оптимального управления одноотраслевой экономикой и ее решение методов интегральных неравенств. 4. Задачи классического вариационного исчисления. Общая идея метода вариаций. 5. Необходимые условия слабого локального минимума в простейшей задаче вариационного исчисления. Уравнение Эйлера. Примеры. 6. Лемма Дюбуа-Реймона. Доказательство. Применение к выводу необходимых условий экстремума в задачах вариационного исчисления. 7. Задачи вариационного исчисления с общими линейными краевыми условиями. Сведение к задаче на безусловный экстремум. Уравнение Эйлера. 8. Задача оптимального управления со свободным правым концом траектории. Формулировка принципа максимума Понтрягина. 9. Метод игольчатых вариаций. Идея доказательства принципа максимума Понтрягина. 10. Применение принципа максимума Понтрягина к исследованию</p>

Компетенция	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
		задачи оптимального управления одноотраслевой экономикой.11. Достаточные условия оптимальности. Доказательство основной теоремы.12. Обобщенная теорема о достаточных условиях оптимальности.13. Решение задачи оптимального управления для модели макроэкономики с производственной функцией Кобба-Дугласа.14. Достаточные условия оптимальности для систем управления с дискретным временем.15. Синтез оптимального управления. Метод Гамильтона-Беллмана16. Применение метода Гамильтона-Беллмана к оптимизации инвестиционного процесса.

Спецификация мероприятий текущего контроля

Тема 1. Введение в экстремальные задачи.

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **4 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **0**

Проходной балл: **0**

Показатели оценивания	Баллы
Правильные ответы на вопросы теста даны не менее чем на 80% вопросов.	10
Правильные ответы на вопросы теста даны не менее чем на 60% вопросов.	8
Правильные ответы на вопросы теста даны не менее чем на 45% вопросов.	5
Входное тестирование	0
Правильные ответы на вопросы теста даны менее чем на 40% вопросов.	0

Тема 2. Задачи вариационного исчисления

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы самостоятельной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **34**

Проходной балл: **17**

Показатели оценивания	Баллы
Задание № 1. Некоторые задачи о быстродействии.	8

Задание № 5. Исследование простейших задач вариационного исчисления.	8
Задание № 4. Исследование простейших задач вариационного исчисления.	8
Задание № 2. Оптимизация потребления при постоянной норме накопления.	5
Задание № 3. Оптимизация потребления при кусочно-постоянной норме потребления.	5

Тема 5. Задача оптимального управления для нелинейной макроэкономической модели

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы самостоятельной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **30**

Проходной балл: **15**

Показатели оценивания	Баллы
Решение задачи оптимального управления для нелинейной модели макроэкономики	15
Достаточные условия оптимальности. Варианты.	7
Принцип максимума Понтрягина. Варианты.	7
Оптимизация потребления при кусочно-постоянной норме потребления. Решение с помощью принципа максимума Понтрягина.	1

Подготовка к итоговой аттестации по дисциплине.

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **2 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы самостоятельной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **36**

Проходной балл: **18**

Показатели оценивания	Баллы
Даны правильные и полные ответы на оба вопроса. При ответе студент уверенно пользуется принятой современной терминологией, в случае мелких оговорок и неточностей быстро находит возможность внести исправления по форме и по существу. Студент способен иллюстрировать общие теоретические положения конкретными примерами. Задание выполнено правильно и полностью. Допускаются некоторые несущественные погрешности	36
Даны правильные ответы на оба вопроса. При ответе студент уверенно пользуется принятой современной терминологией. Допускаются малозначительные неточности и пропуски в изложении принципиальных результатов. Задание выполнено с некоторыми непринципиальными погрешностями.	26
Даны удовлетворительные ответы на оба вопроса. Допускаются существенные неточности и пропуски в изложении принципиальных результатов. Студент испытывает затруднения в иллюстрировании абстрактных результатов конкретными примерами. Задание в целом выполнено, имеются принципиальные погрешности и погрешности в численных значениях.	18
Ответ дан только на один из вопросов или при ответе на оба вопроса студент показывает только фрагментарные знания, не демонстрирует понимания существа излагаемых вопросов. Задание не выполнено или выполнено частично, имеются принципиальные	17

погрешности в попытках его выполнения.	