

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

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

Кафедра вычислительной и экспериментальной механики

Авторы-составители: **Лутманов Сергей Викторович**

Рабочая программа дисциплины

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

Код УМК 62262

Утверждено
Протокол №6
от «16» июня 2020 г.

Пермь, 2020

1. Наименование дисциплины

Оптимальное управление динамическими объектами

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

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

Направление подготовки: **01.03.03** Механика и математическое моделирование
направленность Программа широкого профиля

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

В результате освоения дисциплины **Оптимальное управление динамическими объектами** у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

01.03.03 Механика и математическое моделирование (направленность : Программа широкого профиля)

ПК.1 Способен решать профессиональные задачи, возникающие при проведении научных и прикладных исследований

Индикаторы

ПК.1.1 Математически корректно формулирует проблемы научных и прикладных исследований

ПК.1.2 Решает профессиональные задачи, предполагающие многообразие выбора, при проведении научных и прикладных исследований

4. Объем и содержание дисциплины

Направления подготовки	01.03.03 Механика и математическое моделирование (направленность: Программа широкого профиля)
форма обучения	очная
№№ триместров, выделенных для изучения дисциплины	10
Объем дисциплины (з.е.)	3
Объем дисциплины (ак.час.)	108
Контактная работа с преподавателем (ак.час.), в том числе:	42
Проведение лекционных занятий	28
Проведение практических занятий, семинаров	14
Самостоятельная работа (ак.час.)	66
Формы текущего контроля	Входное тестирование (1) Защищаемое контрольное мероприятие (7) Итоговое контрольное мероприятие (1)
Формы промежуточной аттестации	Зачет (10 триместр)

5. Аннотированное описание содержания разделов и тем дисциплины

Первый семестр

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ТЕОРИИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

. Моделирование управляемого динамического объекта. Дифференциальные уравнения движения динамического объекта

Программные управления. . Постановка задачи теории оптимального управления. Критерии качества управления динамическими объектами. Формулировка задачи теории оптимального управления. Существование решения задачи теории оптимального управления. Существование решения задачи теории оптимального

Входной контроль

Проверяется умение решать дифференциальные уравнения и задачи математического программирования

1. МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЕМОГО ДИНАМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

Изучаются приемы моделирования управляемых динамических объектов

2. СУЩЕСТВОВАНИЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ТЕОРИИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Исследуются условия существования решения задачи теории оптимального управления

Индивидуальное задание 1 «Моделирование управляемого движения»

Производится математическое моделирование управляемого механического объекта

Индивидуальное задание 2 «Программные управления и движения»

Производится построение движения динамического объекта, отвечающего кусочно-непрерывному программному управлению

Индивидуальное задание 3 «Вычисление функционалов»

Производится сравнение качества двух программных управлений по заданному критерию качества

ПРИНЦИП МАКСИМУМА ПОНТРЯГИНА

Функция Гамильтона-Понтрягина. Сопряженная система дифференциальных уравнений. . Формулировка принципа максимума для простейшей задачи теории оптимального управления. Применение принципа максимума при решении простейшей задачи теории оптимального управления. Доказательство принципа максимума для простейшей задачи теории оптимального управления. Поведение функции Гамильтона-Понтрягина вдоль стационарных пар. Простейшая задача теории оптимального управления с нефиксированной продолжительностью процесса. Простейшая задача теории оптимального управления с подвижным левым концом (время фиксировано). Необходимые условия в задаче теории оптимального управления в общей постановке. 3.10. О связи принципа максимума Л.С. Понтрягина с вариационным исчислением. Достаточные условия оптимальности для задач с фиксированным временем. Принцип максимума Л. С. Понтрягина как достаточные условия оптимальности.

1. ПРОСТЕЙШАЯ ЗАДАЧА ТЕОРИИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Изучается задача теории оптимального управления с фиксированным временем управления, закрепленным левым концом и свободным правым концом

2. ОБОБЩЕНИЯ ПРОСТЕЙШЕЙ ЗАДАЧИ ТЕОРИИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Производится обобщение простейшей задачи теории оптимального управления на случай не фиксированного времени и подвижных концов траектории

3. НЕОБХОДИМЫЕ УСЛОВИЯ ОПТИМАЛЬНОСТИ ДЛЯ ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ В ОБЩЕЙ ПОСТАНОВКЕ

Изучаются необходимые условия оптимальности для задач управления в общей постановке

Индивидуальное задание 4 «Простейшая задача теории оптимального управления»

Строится решение простейшей задачи теории оптимального управления

Индивидуальное задание 5 «Постоянство функции Понтрягина на оптимальных парах»

Проверяется постоянство функции Понтрягина на оптимальном решении

Индивидуальное задание 6 «Задачи с подвижными границами»

Решается задача теории оптимального управления с подвижным левым концом траектории, время фиксировано

Индивидуальное задание 7 «Принцип максимума в вариационном исчислении»

Исследуется связь между задачами классического вариационного исчисления и принципом максимума Л. С. Понтрягина

ПОЗИЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

Допустимые позиционные управления. Метод Беллмана.

1. ПОЗИЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

Изучаются задачи оптимального управления в классе позиционных стратегий

Индивидуальное задание 8 «Позиционное управление динамическими объектами»

Строится допустимая позиционная стратегия, решающая задачу оптимального управления

ЗАЧЕТ

Производится отчет по индивидуальным заданиям, выполненным в течении семестра.

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. Оптимальное управление движением: учебное пособие для студентов и аспирантов вузов, обучающихся по группе направлений и специальностей механики/В. В. Александров [и др.].- Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2005, ISBN 5-9221-0401-2.-376.-Библиогр.: с. 368-374
2. Оптимальное управление/Э. М. Галеев [и др.] ; под ред.: Н. П. Осмоловского, В. М. Тихомирова.- Москва: Изд-во МЦНМО, 2008, ISBN 978-5-94057-367-8.-320.-Библиогр.: с. 311-312. - Предм. указ.: 319-320
3. Лутманов С. В. Курс лекций по методам оптимизации/С. В. Лутманов.-Ижевск: Издательство РХД, 2001, ISBN 5-93972-061-7.-368.-Библиогр.: с. 361 - 363

Дополнительная:

1. Лутманов С. В. Вариационное исчисление и теория оптимального управления в примерах и упражнениях: учебное пособие для студентов, обучающихся по группе математических и механических специальностей/С. В. Лутманов.-Пермь, 2010, ISBN 978-5-7944-1279-6.-200.-Библиогр.: с. 198-199
2. Кротов В. Ф., Гурман В. И. Методы и задачи оптимального управления/В. Ф. Кротов, В. И. Гурман.- Москва: Наука, 1973.-448.-Библиогр.: с. 435
3. Понтрягин Л. С. Принцип максимума в оптимальном управлении/Л. С. Понтрягин.- Москва: Наука, 1989, ISBN 5-02-014193-3.-61.

9. Перечень ресурсов сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

<http://www.psu.ru/elektronnye-resursy-dlya-psu> Электронные ресурсы для ПГНИУ
<http://window.edu.ru/> Единое окно доступа к образовательным ресурсам

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

Образовательный процесс по дисциплине **Оптимальное управление динамическими объектами** предполагает использование следующего программного обеспечения и информационных справочных систем:

- доступ в режиме on-line в Электронную библиотечную систему (ЭБС);

- доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.

Необходимое лицензионное и (или) свободно распространяемое программное обеспечение:

- приложение позволяющее просматривать и воспроизводить медиаконтент PDF-файлов «Adobe Acrobat Reader DC»;

- офисный пакет приложений «LibreOffice», Alt Linux;

При освоении материала и выполнении 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

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

Для проведения практических занятий - аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

Для групповых (индивидуальных) консультаций - аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой (и) или маркерной доской.

Для проведения текущего контроля - аудитория, оснащенная меловой (и) или маркерной доской.

Самостоятельная работа студентов: аудитория, оснащенная компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет», с обеспеченным доступом в электронную информационно-образовательную среду университета, помещения Научной библиотеки ПГНИУ.

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
Оптимальное управление динамическими объектами**

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

ПК.1

Способен решать профессиональные задачи, возникающие при проведении научных и прикладных исследований

Компетенция (индикатор)	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
<p>ПК.1.1 Математически корректно формулирует проблемы научных и прикладных исследований</p>	<p>В результате обучения студент должен знать основы теории оптимального управления динамическими объектами, уметь решать конкретные задачи, владеть навыками оптимального управления динамическими объектами.</p>	<p align="center">Неудовлетворител Не знает основных формул для выполнения индивидуального задания. Задание выполнено не в полном объеме</p> <p align="center">Удовлетворительн Знает основные формулы для выполнения индивидуального задания. Задание выполнено в полном объеме.</p> <p align="center">Хорошо Знает основные формулы для выполнения индивидуального задания. Задание выполнено в полном объеме. Умеет обосновывать выкладки при выводе рабочих формул.</p> <p align="center">Отлично Знает основные формулы для выполнения индивидуального задания. Задание выполнено в полном объеме. Умеет обосновывать выкладки при выводе рабочих формул. Владеет материалом из граничных разделов</p>
<p>ПК.1.2 Решает профессиональные задачи, предполагающие многообразие выбора, при проведении научных и прикладных исследований</p>	<p>В результате обучения студент должен уметь строго доказывать теоретическое утверждение, уметь проводить анализ полученного результата.</p>	<p align="center">Неудовлетворител Студент не умеет доказывать теоретическое утверждение, не умеет решать предложенную задачу и не владеет навыками анализа полученного результата.</p> <p align="center">Удовлетворительн Студент умеет доказывать теоретическое утверждение, умеет решать предложенную задачу с неточностями.</p> <p align="center">Хорошо Студент умеет доказывать теоретическое утверждение, решает предложенную задачу</p>

Компетенция (индикатор)	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;">Хорошо</p> <p>и с затруднением анализирует полученный результат..</p> <p style="text-align: center;">Отлично</p> <p>Студент умеет строго доказывать теоретическое утверждение, умеет решать предложенную задачу и владеет навыками анализа полученного результата.</p>

Оценочные средства текущего контроля и промежуточной аттестации

Схема доставки : СУОС

Вид мероприятия промежуточной аттестации : Зачет

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 43 до 60

«неудовлетворительно» / «незачтено» менее 43 балла

Компетенция (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
Входной контроль	Входной контроль Входное тестирование	Проверка начальных знаний, необходимых для освоения курса.
ПК.1.2 Решает профессиональные задачи, предполагающие многообразие выбора, при проведении научных и прикладных исследований ПК.1.1 Математически корректно формулирует проблемы научных и прикладных исследований	Индивидуальное задание 1 «Моделирование управляемого движения» Защищаемое контрольное мероприятие	Проверка знаний по теме «Моделирование управляемого движения»
ПК.1.1 Математически корректно формулирует проблемы научных и прикладных исследований	Индивидуальное задание 2 «Программные управления и движения» Защищаемое контрольное мероприятие	Проверка знаний по теме «Программные управления и движения»
ПК.1.2 Решает профессиональные задачи, предполагающие многообразие выбора, при проведении научных и прикладных исследований ПК.1.1 Математически корректно формулирует проблемы научных и прикладных исследований	Индивидуальное задание 3 «Вычисление функционалов» Защищаемое контрольное мероприятие	Проверка знаний по теме «Вычисление функционалов»

Компетенция (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
<p>ПК.1.2 Решает профессиональные задачи, предполагающие многообразие выбора, при проведении научных и прикладных исследований</p> <p>ПК.1.1 Математически корректно формулирует проблемы научных и прикладных исследований</p>	<p>Индивидуальное задание 4 «Простейшая задача теории оптимального управления» Защищаемое контрольное мероприятие</p>	<p>Проверка знаний по теме Простейшая задача теории оптимального управления</p>
<p>ПК.1.2 Решает профессиональные задачи, предполагающие многообразие выбора, при проведении научных и прикладных исследований</p> <p>ПК.1.1 Математически корректно формулирует проблемы научных и прикладных исследований</p>	<p>Индивидуальное задание 5 «Постоянство функции Понтрягина на оптимальных парах» Защищаемое контрольное мероприятие</p>	<p>Проверка знаний по теме «Постоянство функции Понтрягина на оптимальных парах»</p>
<p>ПК.1.2 Решает профессиональные задачи, предполагающие многообразие выбора, при проведении научных и прикладных исследований</p> <p>ПК.1.1 Математически корректно формулирует проблемы научных и прикладных исследований</p>	<p>Индивидуальное задание 6 «Задачи с подвижными границами» Защищаемое контрольное мероприятие</p>	<p>Проверка знаний по теме «Зада</p>
<p>ПК.1.2 Решает профессиональные задачи, предполагающие многообразие выбора, при проведении научных и прикладных исследований</p> <p>ПК.1.1 Математически корректно формулирует проблемы научных и прикладных исследований</p>	<p>Индивидуальное задание 7 «Принцип максимума в вариационном исчислении» Защищаемое контрольное мероприятие</p>	<p>Проверка знаний по теме «Принцип максимума в вариационном исчислении»</p>

Компетенция (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
ПК.1.2 Решает профессиональные задачи, предполагающие многообразие выбора, при проведении научных и прикладных исследований ПК.1.1 Математически корректно формулирует проблемы научных и прикладных исследований	Индивидуальное задание 8 «Позиционное управление динамическими объектами» Итоговое контрольное мероприятие	Проверка знаний по теме «Позиционное управление динамическими объектами»

Спецификация мероприятий текущего контроля

Входной контроль

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

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

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

Проходной балл: **0**

Показатели оценивания	Баллы
Получен верный ответ	5
Даны обоснования проведенным выкладкам	3
Проведен анализ полученных результатов	2

Индивидуальное задание 1 «Моделирование управляемого движения»

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **6 часа**

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

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **14**

Проходной балл: **7**

Показатели оценивания	Баллы
Получен верный ответ	6
Даны обоснования проведенным выкладкам	4
Проведен анализ полученных результатов	4

Индивидуальное задание 2 «Программные управления и движения»

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **6 часа**
Условия проведения мероприятия: **в часы самостоятельной работы**
Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **12**
Проходной балл: **5**

Показатели оценивания	Баллы
Получен верный ответ	5
Проведен анализ полученных результатов	4
Даны обоснования проведенным выкладкам	3

Индивидуальное задание 3 «Вычисление функционалов»

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **6 часа**
Условия проведения мероприятия: **в часы самостоятельной работы**
Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **12**
Проходной балл: **5**

Показатели оценивания	Баллы
Получен верный ответ	5
Проведен анализ полученных результатов	4
Даны обоснования проведенным выкладкам	3

Индивидуальное задание 4 «Простейшая задача теории оптимального управления»

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **6 часа**
Условия проведения мероприятия: **в часы самостоятельной работы**
Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **12**
Проходной балл: **5**

Показатели оценивания	Баллы
Получен верный ответ Даны обоснования проведенным выкладкам	5
Проведен анализ полученных результатов	4
Даны обоснования проведенным выкладкам	3

Индивидуальное задание 5 «Постоянство функции Понтрягина на оптимальных парах»

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **6 часа**
Условия проведения мероприятия: **в часы самостоятельной работы**
Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **12**
Проходной балл: **5**

Показатели оценивания	Баллы
Получен верный ответ	5
Проведен анализ полученных результатов	4
Даны обоснования проведенным выкладкам	3

Индивидуальное задание 6 «Задачи с подвижными границами»

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **6 часа**
Условия проведения мероприятия: **в часы самостоятельной работы**
Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **12**
Проходной балл: **5**

Показатели оценивания	Баллы
Получен верный ответ	5
Проведен анализ полученных результатов	4
Даны обоснования проведенным выкладкам	3

Индивидуальное задание 7 «Принцип максимума в вариационном исчислении»

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **6 часа**
Условия проведения мероприятия: **в часы самостоятельной работы**
Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **12**
Проходной балл: **5**

Показатели оценивания	Баллы
Получен верный ответ	5
Проведен анализ полученных результатов	4
Даны обоснования проведенным выкладкам	3

Индивидуальное задание 8 «Позиционное управление динамическими объектами»

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **6 часа**

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

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **14**

Проходной балл: **6**

Показатели оценивания	Баллы
Получен верный ответ	6
Даны обоснования проведенным выкладкам	4
Проведен анализ полученных результатов	4