

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»
(РУТ (МИИТ))



Рабочая программа дисциплины (модуля),
как компонент образовательной программы
высшего образования - программы бакалавриата
по направлению подготовки
27.03.04 Управление в технических системах,
утвержденной первым проректором РУТ (МИИТ)
Тимониным В.С.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Оптимальное управление

Направление подготовки: 27.03.04 Управление в технических системах

Направленность (профиль): Системы, методы и средства цифровизации и управления

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины (модуля) в виде
электронного документа выгружена из единой
корпоративной информационной системы управления
университетом и соответствует оригиналу

Простая электронная подпись, выданная РУТ (МИИТ)
ID подписи: 2053
Подписал: заведующий кафедрой Баранов Леонид Аврамович
Дата: 01.06.2024

1. Общие сведения о дисциплине (модуле).

Целями освоения учебной дисциплины (модуля) «Оптимальное управление» является изучение принципов построения оптимальных и адаптивных систем управления и применение программируемых средств, реализующих алгоритмы моделирования и оптимизации проектируемых систем управления. В результате изучения дисциплины студенты должны научиться использовать программные средства и аналитические методы в решении задач оптимального управления и исследования адаптивных систем управления. Основной целью изучения учебной дисциплины «Оптимальное управление» является формирование у обучающегося компетенций для следующих видов деятельности: проектно-конструкторской; научно-исследовательской.

Дисциплина предназначена для получения знаний для решения следующих профессиональных задач (в соответствии с типами задач профессиональной деятельности): Проектно-конструкторская деятельность: сбор и анализ исходных данных для расчета и проектирования устройств и систем автоматизации и управления; расчет и проектирование отдельных блоков и устройств систем автоматизации и управления. Научно-исследовательская деятельность: анализ научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике исследования; проведение вычислительных экспериментов с использованием стандартных программных средств с целью получения математических моделей процессов и объектов автоматизации и управления.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю).

Перечень формируемых результатов освоения образовательной программы (компетенций) в результате обучения по дисциплине (модулю):

ПК-6 - Способен осуществлять сбор и анализ исходных данных для формулирования задач разработки, расчета и проектирования систем и средств автоматизации и управления;

ПК-10 - Способен выявлять, формализовать и решать задачи автоматического управления в транспортных системах.

Обучение по дисциплине (модулю) предполагает, что по его результатам обучающийся будет:

Знать:

- основные тенденции развития современной электроники и вычислительной техники, применяемой в системах автоведения поездов.

- разработки, расчета и проектирования систем и средств автоматизации и управления.

Уметь:

- разрабатывать и формулировать техническое задание для проектирования автоматизированной системы управления и (или) её составляющих.

- выполнять документирование и моделирование бизнес-процессов и технологических процессов объекта автоматизации.

- применять современные средства проектирования при разработке систем автоматического управления движением поездов.

Владеть:

- навыками современных информационных технологий для проектирования и исследования систем автоведения поездов.

- навыками анализа существующих разработок систем и средств автоматизации и управления; формулирует критерии качества; обобщает выводы.

3. Объем дисциплины (модуля).

3.1. Общая трудоемкость дисциплины (модуля).

Общая трудоемкость дисциплины (модуля) составляет 3 з.е. (108 академических часа(ов)).

3.2. Объем дисциплины (модуля) в форме контактной работы обучающихся с педагогическими работниками и (или) лицами, привлекаемыми к реализации образовательной программы на иных условиях, при проведении учебных занятий:

Тип учебных занятий	Количество часов	
	Всего	Семестр №7
Контактная работа при проведении учебных занятий (всего):	64	64
В том числе:		
Занятия лекционного типа	32	32
Занятия семинарского типа	32	32

3.3. Объем дисциплины (модуля) в форме самостоятельной работы обучающихся, а также в форме контактной работы обучающихся с педагогическими работниками и (или) лицами, привлекаемыми к реализации

образовательной программы на иных условиях, при проведении промежуточной аттестации составляет 44 академических часа (ов).

3.4. При обучении по индивидуальному учебному плану, в том числе при ускоренном обучении, объем дисциплины (модуля) может быть реализован полностью в форме самостоятельной работы обучающихся, а также в форме контактной работы обучающихся с педагогическими работниками и (или) лицами, привлекаемыми к реализации образовательной программы на иных условиях, при проведении промежуточной аттестации.

4. Содержание дисциплины (модуля).

4.1. Занятия лекционного типа.

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
1	<p>Постановка задачи оптимального управления</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Общие сведения об оптимальных, адаптивных и самонастраивающихся системах. - Краткая историческая справка. - Примеры постановки задач оптимального управления транспортными объектами.
2	<p>Оптимальное управление движением поезда</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Оптимальное управление двигателем поворота платформы экскаватора; - задачи о безударной стыковке двух ТСЛ, управление двигателем лебедки портового крана и др.
3	<p>Методы решения задач оптимального управления</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Методы классического вариационного исчисления. - Функционал. - Условия экстремума функционала. - Уравнение Эйлера – Лагранжа. - Задача с закрепленными концами. - Задачи на условный экстремум. - Ограничения типа равенств. - Задача Лагранжа
4	<p>Изопериметрическая задача.</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Ограничения типа неравенств. - Задачи с подвижными концами. - Условия трансверсальности.
5	<p>Динамическое программирование.</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Постановка задачи. - Уравнение Беллмана. - Алгоритм решения задач оптимального управления методом динамического программирования. - Вычислительный алгоритм метода АКоР.

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
6	<p>Дискретный вариант метода динамического программирования.</p> <p>Рассматриваемые вопросы: - Два этапа расчета оптимального управления.</p>
7	<p>Теория принципа максимума Понтрягина.</p> <p>Рассматриваемые вопросы: - Примеры: задача набора высоты самолетом, задача оптимальной маршрутизации.</p>
8	<p>Адаптивные и самонастраивающиеся системы</p> <p>Рассматриваемые вопросы: - Основные положения. - Необходимость создания адаптивных систем управления. - Использование адаптивных систем</p>
9	<p>Методы оптимизации в задачах управления.</p> <p>Рассматриваемые вопросы: Градиентные методы. Метод множителей Лагранжа. Методы прямого поиска. Применение методов оптимизации для решения задач оптимального управления.</p>
10	<p>Динамическое программирование.</p> <p>Рассматриваемые вопросы: Уравнение Беллмана. Методы решения уравнений Беллмана. Применение динамического программирования для решения задач оптимального управления.</p>
11	<p>Синтез оптимальных систем управления.</p> <p>Рассматриваемые вопросы: Понятие синтеза оптимальных систем. Методы синтеза линейных и нелинейных систем. Примеры синтеза оптимальных систем управления.</p>
12	<p>Оптимальное управление в условиях неопределённости.</p> <p>Рассматриваемые вопросы: Задачи оптимального управления при наличии неопределённости. Методы решения задач оптимального управления в условиях неопределённости. Адаптивное управление.</p>
13	<p>Оптимальное управление экономическими системами.</p> <p>Рассматриваемые вопросы: Применение методов оптимального управления в экономике. Модели оптимального управления запасами, инвестициями, производственными процессами. Примеры решения экономических задач оптимального управления.</p>
14	<p>Численные методы решения задач оптимального управления.</p> <p>Рассматриваемые вопросы: Обзор численных методов решения задач оптимального управления. Методы коллокаций, методы прямых, методы вариационного исчисления. Примеры применения численных методов.</p>
15	<p>Современные тенденции в оптимальном управлении.</p> <p>Рассматриваемые вопросы: Обзор современных исследований в области оптимального управления. Применение оптимального управления в робототехнике, управлении энергетическими системами, транспортных системах и других областях. Перспективы развития теории оптимального управления.</p>

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
16	<p>Математические модели в оптимальном управлении.</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <p>Построение математических моделей динамических систем.</p> <p>Линейные и нелинейные модели.</p> <p>Примеры моделей в различных областях (техника, экономика, биология и т. д.).</p>

4.2. Занятия семинарского типа.

Лабораторные работы

№ п/п	Наименование лабораторных работ / краткое содержание
1	<p>Введение в среду MATLAB для решения задач оптимального управления</p> <p>Знакомство с интерфейсом MATLAB и Simulink. Основные команды для работы с матрицами и функциями. Создание простых скриптов и моделей. Знакомство с инструментарием Optimization Toolbox и Control System Toolbox.</p>
2	<p>Численное решение уравнения Эйлера-Лагранжа</p> <p>Программная реализация решения краевой задачи, возникающей из уравнения Эйлера-Лагранжа. Использование встроенных решателей (bvp4c) для нахождения оптимальной траектории. Визуализация результатов.</p>
3	<p>Решение задачи Лагранжа с ограничениями типа равенств</p> <p>Формирование расширенного функционала с использованием множителей Лагранжа. Численное решение полученной системы уравнений в MATLAB. Анализ влияния ограничений на форму оптимального управления.</p>
4	<p>Реализация метода динамического программирования для дискретной системы</p> <p>Программирование алгоритма динамического программирования для дискретного объекта управления (обратный ход - вычисление функции Беллмана, прямой ход - построение оптимальной траектории). Исследование влияния шага дискретизации на точность решения.</p>
5	<p>Решение задачи оптимального быстродействия с использованием принципа максимума Понтрягина</p> <p>Моделирование в Simulink объекта управления (например, двойной интегратор). Программная реализация алгоритма поиска момента переключения управления. Построение фазового портрета и оптимальной траектории.</p>
6	<p>Аналитическое конструирование оптимальных регуляторов (АКОР) для линейных систем</p> <p>Формулировка задачи АКОР с квадратичным критерием качества. Решение алгебраического уравнения Риккати с помощью встроенной функции MATLAB (lqr, lqry). Моделирование замкнутой системы и анализ качества переходных процессов.</p>
7	<p>Численные методы оптимизации в задачах управления</p> <p>Применение функции fmincon (Optimization Toolbox) для решения задачи оптимального управления с ограничениями. Сравнение результатов с аналитическими методами. Анализ сходимости и точности.</p>
8	<p>Оптимальное управление в условиях неопределенности. Фильтр Калмана</p> <p>Моделирование системы с шумами измерения и возмущениями. Реализация дискретного фильтра Калмана для оценивания состояния. Синтез оптимального управления с использованием оцененных координат.</p>

Практические занятия

№ п/п	Тематика практических занятий/краткое содержание
1	Формализация задач оптимального управления для технических объектов Составление математической модели объекта (двигатель постоянного тока, тепловой объект, транспортное средство). Выбор критерия оптимальности (минимум времени, минимум энергии, интегральная квадратичная ошибка). Формулировка ограничений на управление и фазовые координаты.
2	Решение вариационных задач аналитическими методами Составление и решение уравнения Эйлера-Лагранжа для простых объектов. Определение постоянных интегрирования из граничных условий. Проверка выполнения достаточных условий экстремума (условие Лежандра).
3	Применение принципа максимума Понтрягина Составление функции Гамильтона. Анализ структуры оптимального управления (релейное управление). Решение двухточечной краевой задачи. Анализ примеров: оптимальное по быстродействию управление для объектов 1-го и 2-го порядка.
4	Метод динамического программирования для непрерывных систем Составление уравнения Гамильтона-Якоби-Беллмана. Поиск решения в виде квадратичной формы для линейно-квадратичных задач. Анализ свойств функции Беллмана.
5	Синтез оптимальных регуляторов для линейных систем Постановка задачи АКОР. Анализ зависимости коэффициентов обратных связей от весовых матриц в критерии качества. Оценка запасов устойчивости синтезированной системы.
6	Оптимальное управление при случайных воздействиях Постановка задачи оптимальной фильтрации. Уравнения фильтра Калмана-Бьюси. Анализ влияния интенсивностей шумов на качество оценивания и управления.
7	Применение методов нелинейного программирования Сведение задачи оптимального управления к задаче нелинейного программирования (методы прямого поиска, метод коллокаций). Анализ вычислительных аспектов и проблем сходимости.
8	Современные тенденции: робастное и адаптивное управление Обзор понятий робастной устойчивости и качества. Идея адаптивных систем с эталонной моделью. Разбор примеров применения в транспортных системах и робототехнике.

4.3. Самостоятельная работа обучающихся.

№ п/п	Вид самостоятельной работы
1	Изучение дополнительной литературы.
2	Подготовка к практическим занятиям.
3	Подготовка к лабораторным работам.
4	Подготовка к промежуточной аттестации.
5	Подготовка к текущему контролю.

5. Перечень изданий, которые рекомендуется использовать при освоении дисциплины (модуля).

№ п/п	Библиографическое описание	Место доступа
----------	----------------------------	---------------

1	Оптимальное и адаптивное управление: Учебное пособие Сердобинцев Ю. П., Кухтик М. П. Волгоградский государственный технический университет. - с. 112. - ISBN 978-5-9948-3552-4 , 2019	https://reader.lanbook.com/book/157184
2	Оптимальное управление Юрина Т. А. Учебно-методическое издание Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет, - 70 с. , 2020	https://reader.lanbook.com/book/163739
3	Оптимальное управление в технических системах Балашова Е.А., Барметов Ю.П., Битюков В.К., Хромых Е.А. Практикум Воронежский государственный университет инженерных технологий, - 287 с. - ISBN 978-5-00032-307-6 , 2017	https://reader.lanbook.com/book/106785

6. Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем, которые могут использоваться при освоении дисциплины (модуля).

Официальный сайт РУТ (МИИТ) (<https://www.miit.ru/>).

Научно-техническая библиотека РУТ (МИИТ) (<http://library.miit.ru>).

Образовательная платформа «Юрайт» (<https://urait.ru/>).

Общие информационные, справочные и поисковые системы «Консультант Плюс», «Гарант».

Электронно-библиотечная система издательства «Лань» (<http://e.lanbook.com/>).

Электронно-библиотечная система ibooks.ru (<http://ibooks.ru/>).

7. Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства, необходимого для освоения дисциплины (модуля).

Microsoft Internet Explorer (или другой браузер).

Операционная система Microsoft Windows.

Microsoft Office.

Пакет прикладных программ MATLAB

8. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю).

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, оснащенные компьютерной техникой и наборами демонстрационного оборудования.

9. Форма промежуточной аттестации:

Экзамен в 7 семестре.

10. Оценочные материалы.

Оценочные материалы, применяемые при проведении промежуточной аттестации, разрабатываются в соответствии с локальным нормативным актом РУТ (МИИТ).

Авторы:

старший преподаватель кафедры
«Управление и защита
информации»

А.И. Сеславин

Согласовано:

Заведующий кафедрой УиЗИ

Л.А. Баранов

Председатель учебно-методической
комиссии

С.В. Володин