

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»
(ВлГУ)
Институт информационных технологий и радиоэлектроники

УТВЕРЖДАЮ:

Директор института



2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ»

Направление подготовки / специальность

27.04.04 Управление в технических системах

Направленность (профиль) подготовки

Управление в технических системах

Владимир
2021

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения дисциплины «Оптимальное управление» являются ознакомление с концепцией оптимального проектирования САУ, типовыми задачами и методами теории оптимального управления. Задачи – научить студентов современным методам разработки информационного и алгоритмического обеспечения систем управления.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Оптимальное управление» относится к дисциплинам части учебного плана, формируемой участниками образовательных отношений.

3. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения ОПОП (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине, в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции <i>(код, содержание индикатора)</i>	Результаты обучения по дисциплине	
ПК-2 Способен применять современные теоретические и экспериментальные методы разработки математических моделей исследуемых объектов и процессов, относящихся к профессиональной деятельности.	ПК-2.1. Знает современные программные средства и методы математического моделирования процессов и объектов автоматизации и управления. ПК-2.2. Умеет анализировать современные программные средства и методы математического моделирования процессов и объектов автоматизации и управления. ПК-2.3. Владеет навыками выполнять вычислительные эксперименты в соответствии с выбранными средствами.	Знать: основные положения современной теории оптимального управления. Уметь: формализовать содержательную задачу в концепции оптимального управления, определить ее тип, выбрать и реализовать метод, позволяющий синтезировать алгоритм оптимального управления. Владеть: методами статической и динамической, детерминированной и стохастической оптимизации процессов управления.	Задания рейтинг контроля.
ПК-3 – Способен применять современные методы разработки технического, информационного и алгоритмического обеспечения систем автоматизации и управления	ПК-3.1. Знает современные методы разработки технического, информационного и алгоритмического обеспечения систем автоматизации и управления. ПК-3.2. Умеет анализировать современные методы разработки технического, информационного и алгоритмического обеспечения систем автоматизации и управления. ПК-3.3. Владеет навыками применения на практике выбранных методов разработки технического, информационного и алгоритмического обеспечения систем автоматизации и управления.	Знает методы разработки технологического оборудования Умеет разработать алгоритм управления технологическими процессами Владеть оценкой качества с использованием интегрального показателя, учитывающего квадратичную ошибку и затраты энергии на управление.	Задания рейтинг контроля. Решение практических задач

1	Обобщенное понятие об управлении и его значение, концепция оптимизации и ее применение к управлению	3	1	1	1			5	
2	Классификация задач оптимального управления	3	2-3	2	2			5	
3	Задачи и алгоритмы оптимизации статических режимов систем управления	3	4	1	1			5	
4	Общая задача оптимального динамического управления и характеристика основных направлений	3	5-6	2	2			5	рейтинг-контроль 1
5	Основные положения классического вариационного исчисления и их применение к задачам оптимального динамического	3	7	1	1			10	
6	Формулировка принципа максимума Л.С.Понтрягина	3	8-9	2	2			10	
7	Синтез алгоритмов управления оптимизации по быстродействию	3	10-11	2	2		1	10	рейтинг-контроль 2
8	Синтез алгоритмов управления оптимизации по обобщенному квадратичному интегральному критерию качества	3	12	1	1		1	10	
9	Проблемы реализации оптимальных алгоритмов управления	3	13-14	2	2			10	рейтинг-контроль 3
10	Оптимальное управление дискретными динамическими системами	3	15	1	1		1	10	
11	Оптимальное управление стохастическими системами	3	16-17	2	2		1	10	рейтинг-контроль 1
12	Проблемы векторного оптимального управления и основные подходы к их решению	3	18	1	1		1	9	
Всего за 3 семестр:				18	18			99	экзамен (45)
Наличие в дисциплине КП/КР									
Итого по дисциплине				18	18			99	экзамен (45)

Содержание лекционных занятий по дисциплине

Тема 1. «Обобщенное понятие об управлении и его значение, концепция оптимизации и ее применение к управлению».

Формулировка понятия об управлении в технике, социально-экономической сфере и в области живых систем. Сущность и значение оптимизации, понятие об оптимальном управлении заданным объектом.

Тема 2. «Классификация задач оптимального управления».

Сущность однокритериальных и многокритериальных задач оптимизации, статических и динамических, детерминированных и стохастических задач оптимального управления.

Тема 3. «Задачи и алгоритмы оптимизации статических режимов систем управления».

Понятие об установившихся режимах и статических характеристиках одномерных и многомерных объектов. Формулировка задач экстремального регулирования, ее прикладное значение. Алгоритмы поиска экстремума критерия качества (целевой функции), использующие и не

использующие производные от целевой функции. Методы учета ограничений на управляющие воздействия.

Тема 4. «Общая задача оптимального динамического управления и характеристика основных направлений в математической теории оптимального управления».

Формулировка классической задачи об оптимизации процессов управления. Задачи Лагранжа, Больца и Майера. Общая характеристика основных направлений в теории оптимального управления: вариационного исчисления, принципа максимума, динамического программирования.

Тема 5. «Основные положения классического вариационного исчисления и их применение к задачам оптимального динамического управления».

Уравнение Эйлера-Лагранжа, скалярный и векторный (многомерный) случай. Учет ограничений.

Тема 6 «Формулировка принципа максимума Л.С.Понтрягина».

Формулировка классической задачи об оптимальном управлении и теорема Л.С.Понтрягина. Технология ее использования при синтезе оптимальных алгоритмов управления.

Тема 7 «Синтез алгоритмов управления оптимальных по быстродействию».

Формулировка задачи об оптимизации быстродействия, ее практическое значение. Использование принципа максимума для ее решения. Теорема Фельдбаума об n -интервалах. Численные алгоритмы синтеза управления оптимального по быстродействию.

Тема 8 «Синтез алгоритмов управления оптимальных по обобщенному квадратичному интегральному критерию качества».

Формулировка задачи аналитического конструирования оптимальных регуляторов (АКОР), ее разновидности, их практическое значение. Решение с помощью принципа максимума.

Тема 9 «Проблемы реализации оптимальных алгоритмов управления».

Проблемы синтеза алгоритмов для объектов произвольного порядка. Проблемы оценки переменных состояния.

Тема 10 «Оптимальное управление дискретными динамическими системами».

Особенности динамических систем с квантованием по времени. Разностные уравнения – основная форма модели дискретных систем. Формулировка задачи о системе алгоритмов оптимального управления дискретными процессами. Использование принципа максимума. Динамическое программирование Р.Белламана.

Тема 11 «Оптимальное управление стохастическими системами».

Объекты с неопределенностями и вероятностно-статическая концепция их описания. Оптимизационный подход к управлению стохастическими объектами и синтезу соответствующих алгоритмов управления.

Тема 12 «Проблемы векторного оптимального управления и основные подходы к их решению».

Концепция многокритериальной оценки процессов управления, прикладные примеры. Методология «сворачивания» локальных критериев в обобщенный критерий. Концепция трансформации векторной задачи управления в однокритериальную задачу с ограничениями неравенствами.

Содержание практических занятий по дисциплине

Тема № 1. Классификация задач оптимального управления, их прикладное значение.

Анализ инженерных задач оптимального автоматического управления, их формализация и определение соответствующего класса задачи.

Тема № 2. Задачи и алгоритмы оптимизации статических режимов систем управления.

Анализ прикладных задач, предполагающих оптимизацию установившихся режимов. Сопоставительный анализ алгоритмов экстремального регулирования, которые могут быть использованы.

Тема № 3. Основные положения классического вариационного исчисления и их применение к задачам оптимального динамического управления.

Использование уравнения Эйлера-Лагранжа для синтеза алгоритмов управления объектами с различной передаточной функцией и различными критериями оптимальности.

Тема № 4. Формулировка принципа максимума Л.С.Понтрягина.

Использования принципа максимума для решения задач оптимального управления объектами с различными передаточными функциями и различными критериями эффективности.

Тема № 5. Синтез алгоритмов управления оптимальных по быстродействию.

Решение задач по отысканию законов управления, минимизирующих время переходного процесса при различных передаточных функциях области управления.

Тема № 6. Синтез алгоритмов управления оптимальных по обобщенному квадратичному интегральному критерию качества.

Вывод законов оптимального управления при заданной передаточной функции объекта и оценка качества с использованием интегрального показателя, учитывающего квадратичную ошибку и затраты энергии на управление.

Тема № 7. Проблемы реализации оптимальных алгоритмов управления.

Решение задач по синтезу структуры и определению параметров наблюдателей Люенбергера при заданной передаточной функции объекта управления.

Тема № 8. Оптимальное управление дискретными динамическими системами.

Вывод дискретной модели объекта управления в виде системы разностных уравнений в нормальной форме, применение к ней дискретного принципа максимума. Анализ прикладных задач, соответствующих концепции классического динамического программирования.

5. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ

5.1. Текущий контроль успеваемости (рейтинг-контроль 1, рейтинг-контроль 2, рейтинг-контроль 3).

ВОПРОСЫ

к рейтинг-контролю знаний студентов

Рейтинг-контроль 1

1. Понятие об управлении и типовые задачи управления.
2. Понятие об оптимальном управлении и оптимизации.
3. Постановка задачи об оптимальном управлении статическим режимом, формулировка задачи об экстремальном регулировании, ее связь с задачами математического программирования.
4. Сущность основных алгоритмов статической оптимизации:
 - а) покоординатной оптимизации;
 - б) симплекс-метод и алгоритм Нелдера-Мида;
 - в) алгоритм Ньютона-Рафсона;
 - г) градиентный алгоритм;
 - д) метод наискорейшего спуска;
 - е) метод случайного поиска;
 - ж) алгоритм оценки градиента.
5. Статические характеристики овражного типа и особенности поиска экстремума для таких характеристик.
6. Проблема оптимизации примногоэкстремальных статических характеристик.

7. Методы оптимизации при наличии ограничений на переменные, метод штрафных функций.
8. Задачи и алгоритмы линейного программирования.

Рейтинг-контроль 2

1. Формулировка общей задачи оптимизации управления динамическим режимом и ее математическая интерпретация. Понятие о критерии качества управления динамическим объектом, сущность и примеры функционала.
2. Методы классического вариационного исчисления. Необходимое условие экстремальности функционала – уравнение Эйлера-Лагранжа .
3. Примеры применения уравнения Эйлера-Лагранжа для решения задач оптимального управления.
4. Формулировка задач Лагранжа, Майера и Больца. Пути их решения, условия трансверсальности.
5. Приближенные методы решения задач динамической оптимизации средствами вариационного исчисления (метод Рунге и метод Эйлера).
6. Классическая формулировка задачи об оптимальном управлении и формулировка принципа максимума Л.С.Понтрягина.
7. Применение ПМ для решения классической задачи Эйлера.
8. Применение ПМ для решения задачи об оптимальном управлении двухинтеграторном объектом:
 - а) с минимизацией затрат энергии на управление;
 - б) с минимизацией времени переходного процесса.
9. Применение ПМ для решения задачи о синтезе управления линейной динамической системой с минимизацией обобщенного квадратичного интегрального показателя качества.

Рейтинг-контроль 3

1. Задача об оптимальном управлении по быстродействию. Теорема Фельдбаума об η -интегралах.
2. Два подхода к реализации оптимального управления – управление в программном режиме и управление на основе обратной связи.
3. Проблема оценки переменного состояния и сути его решения:
 - а) алгоритмы дифференцирования сигналов;
 - б) наблюдатели Люенберга.
4. Приближенные методы отыскания решения задач оптимального управления.
5. Особенности задач об оптимальном управлении в дискретных системах.
6. Задачи и методы динамического программирования. Принцип оптимальности Р.Беллмана. Функциональное уравнение ДП и его применение для задач об оптимальном управлении на примерах:
 - а) задачи об оптимальном распределении выделенных средств между предприятиями;
 - б) задачи о поэтапном распределении средств на развитие;
 - в) задачи об оптимальном графике замены оборудования;
 - г) задачи о календарном планировании трудовых ресурсов.
7. Использование принципа максимума для отыскания оптимального уравнения в дискретных системах.
8. Стохастические оптимальные системы и методы их синтеза. Понятие о наблюдателях (фильтрах) Калмана-Бьюси.

5.2. Промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины (экзамен).

5.2. Промежуточная аттестация (экзамен)

Вопросы к экзамену

1. Понятие об управлении и типовые задачи управления.
2. Понятие об оптимальном управлении и оптимизации.
3. Постановка задачи об оптимальном управлении статическим режимом, формулировка задачи об экстремальном регулировании, ее связь с задачами математического программирования.
4. Сущность основных алгоритмов статической оптимизации:
 - а) покоординатной оптимизации;
 - б) симплекс-метод и алгоритм Нелдера-Мида;
 - в) алгоритм Ньютона-Рафсона;
 - г) градиентный алгоритм;
 - д) метод наискорейшего спуска;
 - е) метод случайного поиска;
 - ж) алгоритм оценки градиента.
5. Статические характеристики овражного типа и особенности поиска экстремума для таких характеристик.
6. Проблема оптимизации примногоэкстремальных статических характеристик.
7. Методы оптимизации при наличии ограничений на переменные, метод штрафных функций.
8. Задачи и алгоритмы линейного программирования.
9. Формулировка общей задачи оптимизации управления динамическим режимом и ее математическая интерпретация. Понятие о критерии качества управления динамическим объектом, сущность и примеры функционала.
10. Методы классического вариационного исчисления. Необходимое условие экстремальности функционала – уравнение Эйлера-Лагранжа.
11. Примеры применения уравнения Эйлера-Лагранжа для решения задач оптимального управления.
12. Формулировка задач Лагранжа, Майера и Больца. Пути их решения, условия трансверсальности.
13. Приближенные методы решения задач динамической оптимизации средствами вариационного исчисления (метод Рунге и метод Эйлера).
14. Классическая формулировка задачи об оптимальном управлении и формулировка принципа максимума Л.С.Понтрягина.
15. Применение ПМ для решения классической задачи Эйлера.
16. Применение ПМ для решения задачи об оптимальном управлении двухинтеграторном объектом:
 - а) с минимизацией затрат энергии на управление;
 - б) с минимизацией времени переходного процесса.
17. Применение ПМ для решения задачи о синтезе управления линейной динамической системой с минимизацией обобщенного квадратичного интегрального показателя качества.
18. Задача об оптимальном управлении по быстродействию. Теорема Фельдбаума об η -интегралах.
19. Два подхода к реализации оптимального управления – управление в программном режиме и управление на основе обратной связи.
20. Проблема оценки переменного состояния и сути его решения:
 - а) алгоритмы дифференцирования сигналов;
 - б) наблюдатели Люенберга.
21. Приближенные методы отыскания решения задач оптимального управления.

22. Особенности задач об оптимальном управлении в дискретных системах.
23. Задачи и методы динамического программирования. Принцип оптимальности Р.Беллмана. Функциональное уравнение ДП и его применение для задач об оптимальном управлении на примерах:
 - а) задачи об оптимальном распределении выделенных средств между предприятиями;
 - б) задачи о поэтапном распределении средств на развитие;
 - в) задачи об оптимальном графике замены оборудования;
 - г) задачи о календарном планировании трудовых ресурсов.
24. Использование принципа максимума для отыскания оптимального уравнения в дискретных системах.
25. Стохастические оптимальные системы и методы их синтеза. Понятие о наблюдателях (фильтрах) Калмана-Бьюси.

5.3. Самостоятельная работа обучающегося.

В плане самостоятельной работы студентами выполняются приведенные задания для самостоятельной работы.

Задания для самостоятельной работы студентов

Проблема оптимизации примногоэкстремальных статических характеристик.

Использование принципа максимума для отыскания оптимального уравнения в дискретных системах.

Постановка задачи об оптимальном управлении статическим режимом, формулировка задачи об экстремальном регулировании, ее связь с задачами математического программирования.

Методы оптимизации при наличии ограничений на переменные, метод штрафных функций.

Фонд оценочных материалов (ФОМ) для проведения аттестации уровня сформированности компетенций обучающихся по дисциплине оформляется отдельным документом.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Книгообеспеченность

Наименование литературы: автор, название, вид издания, издательство	Год издания	КНИГООБЕСПЕЧЕННОСТЬ
		Наличие в электронной библиотеке ВЛГУ (дата обращения)
1	2	3
Основная литература		
1. Имитационное моделирование: Учебное пособие / Н.Б. Кобелев, В.А. Половников, В.В. Девятков; Под общ. ред. д-ра экон. наук Н.Б. Кобелева. - М.: КУРС: НИЦ Инфра-М, 2013. - ISBN 978-5-905554-17-9	2013	http://znnium.com/ 97

2. Моделирование систем и процессов: Учебное пособие / Н.Г. Чикуров. - М.: ИЦ РИОР: НИЦ Инфра-М, 2013. - 398 с.: ISBN 978-5-369-01167-6	2013	http://znanium.com/
3. Дьяконов В.П. MATLAB. Полный самоучитель. / Дьяконов В.П.— М.: ДМК Пресс, 2014.— 768 с.—	2014	http://www.iprbookshop.ru/7911
Дополнительная литература		
1. Электрические машины, электропривод и системы интеллектуального управления электротех. комплексами /А.Е.Поляков, А.В.Чесноков, Е.М.Филимонова - М.: Форум, ИНФРА-М, 2015. - 224 с.: ISBN 978-5-00091-071-9,	2015	http://znanium.com/
2. Моделирование электротехнических систем /Гурова Е.Г. - Новосиб.: НГТУ, 2014. - 52 с.: ISBN 978-5-7782-2569-5	2014	http://znanium.com/
3. Лиходеев С. И. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Математическое моделирование объектов и систем управления» (ВлГУ), 2012. — 55с	2012	http://index.lib.vlsu.ru/

6.2. Периодические издания

1. Журнал «Информационные технологии». ISBN: 978-5-482-01401-1.
2. Журнал «Силовая электроника» – режим доступа: <http://power-e.ru>.

6.3. Интернет-ресурсы

1. <http://www.exponenta.ru/>
2. <http://matlab.exponenta.ru/index.php>
3. <http://elibrary.ru>, Научная электронная библиотека.

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Для реализации данной дисциплины имеются специальные помещения для проведения занятий лекционного типа, занятий лабораторного типа, курсового проектирования, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, а также помещения для самостоятельной работы.

Лабораторные занятия проводятся в аудиториях кафедры ВТиСУ 117-3, 118-3.

Перечень используемого лицензионного программного обеспечения: MATLAB; MATHCAD, VISIO; Word.

Рабочую программу составил к.т.н., профессор


А.А.Галкин

Рецензент (представитель работодателя):

начальник лаборатории ЗАО «Автоматика»


В.М. Дерябин

Программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ВТ и СУ

Протокол № 1 от 31.08.2021 года

Заведующий кафедрой


В.Н. Ланцов

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании учебно-методической комиссии
Направления «Управление в технических системах»

Протокол № 1 от 31.08.21 года

Председатель комиссии


А.Б.Градусов

**ЛИСТ ПЕРЕУТВЕРЖДЕНИЯ
РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ ДИСЦИПЛИНЫ**

Рабочая программа одобрена на 20 21 / 20 22 учебный года

Протокол заседания кафедры № 1 от 31.08.2021 года

Заведующий кафедрой _____ К.В.Куликов

Рабочая программа одобрена на 20 22 / 20 23 учебный года

Протокол заседания кафедры № 17 от 13.06.22 года

Заведующий кафедрой _____ К.В.Куликов

Рабочая программа одобрена на 20 ____ / 20 ____ учебный года

Протокол заседания кафедры № ____ от ____ года

Заведующий кафедрой _____ К.В.Куликов

Рабочая программа одобрена на 20 ____ / 20 ____ учебный года

Протокол заседания кафедры № ____ от ____ года

Заведующий кафедрой _____ К.В.Куликов