

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ВЛАДИВОСТОКСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
КАФЕДРА ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Рабочая программа дисциплины (модуля)
ОПТИМАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Направление и направленность (профиль)
15.03.06 Мехатроника и робототехника. Мехатроника и робототехника

Год набора на ОПОП
2024

Форма обучения
очная

Владивосток 2026

Рабочая программа дисциплины (модуля) «Оптимальные системы управления» составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 15.03.06 Мехатроника и робототехника (утв. приказом Минобрнауки России от 17.08.2020г. №1046) и Порядком организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, программам специалитета, программам магистратуры (утв. приказом Минобрнауки России от 06.04.2021 г. N245).

Составитель(и):

Гребенюк И.В.

Утверждена на заседании кафедры инженерно-технических наук от 14.04.2026 ,
протокол № 6

СОГЛАСОВАНО:

Заведующий кафедрой (разработчика)

Гребенюк И.В.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ	
Сертификат	iv_1642677251
Номер транзакции	000000000108FC53
Владелец	Гребенюк И.В.

1 Цель, планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю)

Целью освоения дисциплины «Оптимальные системы управления» является ознакомление студентов с математическим аппаратом вариационного исчисления и основными методами теории оптимальных систем автоматического управления, развить у них практические навыки решения типовых оптимизационных задач.

Задачи освоения дисциплины:

1. Овладеть основными теоретическими положениями вариационного исчисления, изучить необходимые и достаточные условия экстремума функционалов в различных типах задач на условный и безусловный экстремум;
2. Изучить основную теорему принципа максимума для функционала общего вида и научиться применять ее при синтезе оптимальных по быстродействию и по квадратичному критерию систем управления;
3. Изучить метод динамического программирования и принцип оптимальности Беллмана, овладеть методами синтеза оптимальных линейных регуляторов для линейных стационарных и нестационарных систем.

Планируемыми результатами обучения по дисциплине (модулю), являются знания, умения, навыки. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы, представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Компетенции, формируемые в результате изучения дисциплины (модуля)

Название ОПОП ВО, сокращенное	Код и формулировка компетенции	Код и формулировка индикатора достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине		
			Код результата	Формулировка результата	
15.03.06 «Мехатроника и робототехника» (Б-МР)	ОПК-11 : Способен разрабатывать и применять алгоритмы и современные цифровые программные методы расчетов и проектирования отдельных устройств и подсистем мехатронных и робототехнических систем с использованием стандартных исполнительных и управляющих устройств, средств автоматики, измерительной и вычислительной техники в соответствии с техническим заданием, разрабатывать	ОПК-11.1к : Знает методы и средства проведения расчета при проектировании мехатронных и робототехнических систем	РД1	Знание	основных теоретических положений вариационного исчисления, необходимые и достаточные условия экстремума функционалов в различных типах задач на условный и безусловный экстремум
		ОПК-11.2к : Применяет основные методы и средства расчета при проектировании мехатронных и робототехнических систем	РД2	Умение	применять теорему принципа максимума для функционала общего вида при синтезе оптимальных по быстродействию и по квадратичному критерию систем управления
			РД3	Навык	владения методами синтеза оптимальных линейных регуляторов для линейных стационарных и нестационарных систем

	цифровые алгоритмы и программы управления робототехнических систем				
--	--	--	--	--	--

В процессе освоения дисциплины решаются задачи воспитания гармонично развитой, патриотичной и социально ответственной личности на основе традиционных российских духовно-нравственных и культурно-исторических ценностей, представленные в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Целевые ориентиры воспитания

Воспитательные задачи	Формирование ценностей	Целевые ориентиры
Формирование гражданской позиции и патриотизма		
Воспитание уважения к истории и культуре России	Взаимопомощь и взаимоуважение	Жизнелюбие
Формирование духовно-нравственных ценностей		
Воспитание чувства долга и ответственности перед семьей и обществом	Достоинство	Доброжелательность и открытость
Формирование научного мировоззрения и культуры мышления		
Развитие познавательного интереса и стремления к знаниям	Жизнь	Креативное мышление
Формирование коммуникативных навыков и культуры общения		
Воспитание культуры диалога и уважения к мнению других людей	Права и свободы человека	Активная жизненная позиция

2 Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП

Дисциплина «Оптимальные системы управления» входит в обязательную часть Блока 1 «Дисциплины (модули)» учебного плана и проводится в 8 семестре.

Входными требованиями, необходимыми для освоения дисциплины, является наличие у обучающихся компетенций, сформированных при изучении дисциплин «Информатика», «Математический анализ», «Дискретная математика», «Физика», «Математические основы теории автоматического управления», «Теория автоматического управления».

3. Объем дисциплины (модуля)

Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу с обучающимися (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу, приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Общая трудоемкость дисциплины

Название ОПОП ВО	Форма обуче- ния	Часть УП	Семестр (ОФО) или курс (ЗФО, ОЗФО)	Трудо- емкость	Объем контактной работы (час)						СРС	Форма аттес- тации
				(З.Е.)	Всего	Аудиторная			Внеауди- торная			
						лек.	прак.	лаб.	ПА	КСР		
15.03.06 Мехатроника и робототехника	ОФО	Б1.Б	8	4	57	28	28	0	1	0	87	Э

4 Структура и содержание дисциплины (модуля)

4.1 Структура дисциплины (модуля) для ОФО

Тематический план, отражающий содержание дисциплины (перечень разделов и тем), структурированное по видам учебных занятий с указанием их объемов в соответствии с учебным планом, приведен в таблице 3.1

Таблица 3.1 – Разделы дисциплины (модуля), виды учебной деятельности и формы текущего контроля для ОФО

№	Название темы	Код ре- зультата обучения	Кол-во часов, отведенное на				Форма текущего контроля
			Лек	Практ	Лаб	СРС	
1	Понятие об оптимальном управлении	РД1, РД2, РД3	4	4	0	20	опрос
2	Элементы вариационного исчисления	РД1, РД2, РД3	4	4	0	15	опрос
3	Задачи на экстремум функционалов	РД1, РД2, РД3	4	4	0	20	опрос
4	Синтез оптимальных систем с помощью вариационного исчисления	РД1, РД2	4	4	0	15	опрос
5	Принцип максимума Понтрягина	РД1, РД2	6	6	0	10	опрос
6	Принцип оптимальности Беллмана	РД1, РД3	8	8	0	7	опрос
Итого по таблице			30	30	0	87	

4.2 Содержание разделов и тем дисциплины (модуля) для ОФО

Тема 1 Понятие об оптимальном управлении.

Содержание темы: Элементы системы автоматического управления. Координаты состояния. Полностью наблюдаемый и полностью управляемый объект. Задача управления. Общий вид уравнений динамики объекта управления. Допустимое управление. Функционал как критерий качества процесса управления. Первая задача оптимального управления (программное управление). Вторая задача оптимального управления (синтез оптимального регулятора). Типы критериев оптимизации. Критерий быстродействия. Квадратичный критерий. Критерий расхода рабочего тела на управление. Комбинированный критерий.

Формы и методы проведения занятий по теме, применяемые образовательные технологии: лекции, практика.

Виды самостоятельной подготовки студентов по теме: выполнение работы над ошибками, завершение практической работы, поиск информации по теме занятия.

Тема 2 Элементы вариационного исчисления.

Содержание темы: Определение функционала. Примеры функционалов. Функциональные пространства. Непрерывность и линейность функционалов. Свойства линейных и квадратичных функционалов. Определение дифференцируемости функционалов. Первая и вторая вариация функционала. Понятие экстремума функционала. Необходимые и достаточные условия экстремума.

Формы и методы проведения занятий по теме, применяемые образовательные технологии: лекции, практика.

Виды самостоятельной подготовки студентов по теме: выполнение работы над ошибками, завершение практической работы, подготовка отчета по лабораторной работе, поиск информации по теме занятия.

Тема 3 Задачи на экстремум функционалов.

Содержание темы: Простейшая задача вариационного исчисления. Уравнение Эйлера. Теорема Лежандра. Экстремум функционала от нескольких функций. Система уравнений Эйлера-Лагранжа. Экстремум функционала от функции и ее производных. Уравнение Эйлера-Пуассона. Постановка задачи на условный экстремум и ее отличие от задачи на безусловный экстремум. Условия связи и как они формулируются в задачах Лагранжа с голономными и неголономными связями. Множители Лагранжа. Типы задач на условный экстремум.

Формы и методы проведения занятий по теме, применяемые образовательные технологии: лекции, практика.

Виды самостоятельной подготовки студентов по теме: выполнение работы над ошибками, завершение практической работы, подготовка отчета по лабораторной работе, поиск информации по теме занятия.

Тема 4 Синтез оптимальных систем с помощью вариационного исчисления.

Содержание темы: Постановка задачи синтеза как задачи на безусловный экстремум. Квадратичный функционал как критерий оптимизации. Особенности задания граничных условий. Форма записи и решение уравнения Эйлера-Пуассона. Свойство корней характеристического уравнения. Характеристический многочлен оптимальной системы. Синтез оптимального линейного регулятора. Критерии оптимизации. Граничные условия и условия связи. Особенности формы записи и метода решения системы уравнений Эйлера-Лагранжа.

Формы и методы проведения занятий по теме, применяемые образовательные технологии: лекции, практика.

Виды самостоятельной подготовки студентов по теме: выполнение работы над ошибками, завершение практической работы, подготовка отчета по лабораторной работе, поиск информации по теме занятия.

Тема 5 Принцип максимума Понтрягина.

Содержание темы: Модифицированная постановка задачи оптимального управления. Ограничения на управление. Основная теорема принципа максимума для функционала общего вида. Принцип максимума для оптимальности по быстродействию. Оптимальное по быстродействию управление стационарным линейным объектом. Теорема об n -интервалах. Управление линейным объектом, оптимальное по расходу топлива. Синтез оптимальных по квадратичному критерию систем управления. Нестационарный объект управления. Матричное дифференциальное уравнение Риккати. Стационарный объект управления. Матричное алгебраическое уравнение Риккати. Матричное уравнение и структурная схема оптимального регулятора.

Формы и методы проведения занятий по теме, применяемые образовательные технологии: лекции, практика.

Виды самостоятельной подготовки студентов по теме: выполнение работы над ошибками, завершение практической работы, подготовка отчета по лабораторной работе, поиск информации по теме занятия.

Тема 6 Принцип оптимальности Беллмана.

Содержание темы: Многошаговый процесс. Оптимальная стратегия. Обобщенная формулировка принципа оптимальности. Принцип оптимальности в задаче управления непрерывными системами. Общий вид уравнения Беллмана. Уравнение Беллмана для стационарной задачи. Уравнение Беллмана для задачи оптимальности по быстродействию. Применение принципа оптимальности Беллмана для синтеза оптимальных линейных регуляторов.

Формы и методы проведения занятий по теме, применяемые образовательные технологии: лекции, практика.

Виды самостоятельной подготовки студентов по теме: выполнение работы над ошибками, завершение практической работы, подготовка отчета по лабораторной работе, поиск информации по теме занятия.

5 Методические указания для обучающихся по изучению и реализации дисциплины (модуля)

5.1 Методические рекомендации обучающимся по изучению дисциплины и по обеспечению самостоятельной работы

Успешное освоение дисциплины предполагает активную работу студентов на всех занятиях аудиторной формы, выполнение аттестационных мероприятий, эффективную самостоятельную работу. В процессе изучения дисциплины студенту необходимо ориентироваться на самостоятельную подготовку к практическим занятиям, выполнение заданий, самостоятельное изучение некоторых разделов курса.

Практические задания выполняются студентами как аудиторно, так и самостоятельно. В начале занятия преподаватель информирует студентов о требованиях и дает рекомендации по выполнению каждой практической работы.

Работа над практическими заданиями включает: качество проделанных практических работ, посещаемость занятий, результаты самостоятельной работы по выполнению практических заданий.

Подготовке студента к выполнению работ на практическом занятии должно предшествовать изучение литературы, приведенной в списке основной и дополнительной литературы рабочей программы учебной дисциплины. При этом, желательно, чтобы студенты проводили анализ полученной дополнительной информации, анализировали существенные дополнения и ставили вопросы. В процессе самостоятельной подготовки используются электронные базы данных и различные электронные ресурсы. Самостоятельная работа студентов способствует развитию самостоятельности, ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального уровня.

Темы практических заданий, методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков, а также критерии и показатели, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, представлены в ФОС к дисциплине.

Текущий контроль проводится:

- по результатам работы студентов на практических занятиях и самостоятельной работы по выполнению практических заданий. Критерием оценки является полнота

выполнения практических работ, выполнение их в точном соответствии с постановкой и творческий подход к решению проблем.

5.2 Особенности организации обучения для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

При необходимости обучающимся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов (по заявлению обучающегося) предоставляется учебная информация в доступных формах с учетом их индивидуальных психофизических особенностей:

- для лиц с нарушениями зрения: в печатной форме увеличенным шрифтом; в форме электронного документа; индивидуальные консультации с привлечением тифлосурдопереводчика; индивидуальные задания, консультации и др.

- для лиц с нарушениями слуха: в печатной форме; в форме электронного документа; индивидуальные консультации с привлечением сурдопереводчика; индивидуальные задания, консультации и др.

- для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата: в печатной форме; в форме электронного документа; индивидуальные задания, консультации и др.

6 Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине (модулю)

В соответствии с требованиями ФГОС ВО для аттестации обучающихся на соответствие их персональных достижений планируемым результатам обучения по дисциплине (модулю) созданы фонды оценочных средств. Типовые контрольные задания, методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений и навыков, а также критерии и показатели, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы, представлены в Приложении 1.

7 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

7.1 Основная литература

1. Разработка системы управления рисками и капиталом (ВПОДК) : учебник и практикум для вузов / под научной редакцией А. Д. Дугина, Г. И. Пеникаса. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 367 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-9916-4949-0. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/561968> (дата обращения: 01.09.2025).

2. Сеславин, А. И. Теория автоматического управления. Линейные, непрерывные системы : учебник / А.И. Сеславин. — Москва : ИНФРА-М, 2026. — 314 с. — (Высшее образование). — DOI 10.12737/1014654. - ISBN 978-5-16-021016-2. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.ru/catalog/product/2210897> (дата обращения: 31.05.2026)

7.2 Дополнительная литература

1. Деканова, Н. П. Системы управления базами данных: практикум : учебное пособие / Н. П. Деканова. — Иркутск : ИрГУПС, 2023. — 72 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/369524> (дата обращения: 25.05.2026). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Закожурников, С. С. Автоматизированные системы управления. Микроконтроллеры : учебное пособие / С. С. Закожурников. — Москва : РТУ МИРЭА, 2023. — 77 с. — ISBN 978-5-7339-1955-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/382751> (дата обращения: 25.05.2026). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Ким, Д. П. Теория автоматического управления. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. Задачник : учебник для вузов / Д. П. Ким. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 331 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-01459-4. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/562019> (дата обращения: 01.09.2025).

4. Попов, Р. А. Современные системы управления деятельностью : учебник / Р. А. Попов. — Москва : ИНФРА-М, 2022. — 309 с. + Доп. материалы [Электронный ресурс]. — (Высшее образование: Магистратура). — DOI 10.12737/textbook_5a66df75845075.12590697. — ISBN 978-5-16-016191-4. — Текст : электронный. — URL: <https://znanium.com/catalog/product/1856730> (дата обращения: 31.05.2026)

7.3 Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы (при необходимости):

1. Образовательная платформа "ЮРАЙТ"
2. Электронно-библиотечная система "ZNANIUM.COM"
3. Электронно-библиотечная система "ЛАНЬ"
4. Open Academic Journals Index (ОАИ). Профессиональная база данных - Режим доступа: <http://oaji.net/>
5. Президентская библиотека им. Б.Н.Ельцина (база данных различных профессиональных областей) - Режим доступа: <https://www.prilib.ru/>
6. Информационно-справочная система "Консультант Плюс" - Режим доступа: <http://www.consultant.ru/>

8 Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля) и перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения

Основное оборудование:

- Мультимедийный проектор №3 Casio XJ-M146
- Облачный монитор LG Electronics черный +клавиатура+мышь
- Принтер HP LaserJet P1018
- Принтер HP LaserJet P1505
- Шкаф настенный 19", 6U, 312x600x400, со стеклянной дверью

Программное обеспечение:

- □ AutoCAD
- □ Microsoft Windows Professional 8.1 Russian
- □ Microsoft Windows XP Professional

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ВЛАДИВОСТОКСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

КАФЕДРА ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

Фонд оценочных средств
для проведения текущего контроля
и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)

ОПТИМАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Направление и направленность (профиль)
15.03.06 Мехатроника и робототехника. Мехатроника и робототехника

Год набора на ОПОП
2024

Форма обучения
очная

Владивосток 2026

1 Перечень формируемых компетенций

Название ОПОП ВО, сокращенное	Код и формулировка компетенции и	Код и формулировка индикатора достижения компетенции
15.03.06 «Мехатроника и робототехника» (Б-МР)	ОПК-11 : Способен разрабатывать и применять алгоритмы и современные цифровые программные методы расчетов и проектирования отдельных устройств и подсистем мехатронных и робототехнических систем с использованием стандартных исполнительных и управляющих устройств, средств автоматики, измерительной и вычислительной техники в соответствии с техническим заданием, разрабатывать цифровые алгоритмы и программы управления робототехнических систем	ОПК-11.1к : Знает методы и средства проведения расчета при проектировании мехатронных и робототехнических систем
		ОПК-11.2к : Применяет основные методы и средства расчета при проектировании мехатронных и робототехнических систем

Компетенция считается сформированной на данном этапе в случае, если полученные результаты обучения по дисциплине оценены положительно (диапазон критериев оценивания результатов обучения «зачтено», «удовлетворительно», «хорошо», «отлично»). В случае отсутствия положительной оценки компетенция на данном этапе считается несформированной.

2 Показатели оценивания планируемых результатов обучения

Компетенция ОПК-11 «Способен разрабатывать и применять алгоритмы и современные цифровые программные методы расчетов и проектирования отдельных устройств и подсистем мехатронных и робототехнических систем с использованием стандартных исполнительных и управляющих устройств, средств автоматики, измерительной и вычислительной техники в соответствии с техническим заданием, разрабатывать цифровые алгоритмы и программы управления робототехнических систем»

Таблица 2.1 – Критерии оценки индикаторов достижения компетенции

Код и формулировка индикатора достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине			Критерии оценивания результатов обучения
	Код	Тип	Результат	
ОПК-11.1к : Знает методы и средства проведения расчета при проектировании мехатронных и робототехнических систем	РД 1	Знание	основных теоретических положений вариационного исчисления, необходимые и достаточные условия экстремума функционалов в различных типах задач на условный и безусловный экстремум	перечисляет виды и способы вариационного исчисления, необходимые и достаточные условия экстремума функционалов
ОПК-11.2к : Применяет основные методы и средства расчета при проектировании мехатронных и робототехнических систем	РД 2	Умение	применять теорему принципа максимума для функционала общего вида при синтезе оптимальных по быстродействию и по квадратичному критерию систем управления	демонстрирует способность пользоваться теоремой принципа максимума для функционала общего вида при синтезе оптимальных по быстродействию систем управления

			ию и по квадратичному критерию систем управления
	РД 3	На вы к	владения методами синтеза оптимальных линейных регуляторов для линейных стационарных и нестационарных систем владеет методами синтеза оптимальных линейных регуляторов для линейных стационарных и нестационарных систем

Таблица заполняется в соответствии с разделом 1 Рабочей программы дисциплины (модуля).

3 Перечень оценочных средств

Таблица 3 – Перечень оценочных средств по дисциплине (модулю)

Контролируемые планируемые результаты обучения		Контролируемые темы дисциплины	Наименование оценочного средства и представление его в ФОС	
			Текущий контроль	Промежуточная аттестация
Очная форма обучения				
РД1	Знание : основных теоретических положений вариационного исчисления, необходимые и достаточные условия экстремума функционалов в различных типах задач на условный и безусловный экстремум	1.1. Понятие об оптимальном управлении	Опрос	Экзамен в устной форме
			Практическая работа	Экзамен в устной форме
		1.2. Элементы вариационного исчисления	Опрос	Экзамен в устной форме
			Практическая работа	Экзамен в устной форме
		1.3. Задачи на экстремум функционалов	Опрос	Экзамен в устной форме
			Практическая работа	Экзамен в устной форме
		1.4. Синтез оптимальных систем с помощью вариационного исчисления	Опрос	Экзамен в устной форме
			Практическая работа	Экзамен в устной форме
		1.5. Принцип максимума Понтрягина	Опрос	Экзамен в устной форме
			Практическая работа	Экзамен в устной форме
		1.6. Принцип оптимальности Беллмана	Опрос	Экзамен в устной форме
			Практическая работа	Экзамен в устной форме
РД2	Умение : применять теорему принципа максимума для функционала общего вида при синтезе оптимальных по быстродействию систем	1.1. Понятие об оптимальном управлении	Опрос	Экзамен в устной форме
			Практическая работа	Экзамен в устной форме

	ействию и по квадратичному критерию систем управления	1.2. Элементы вариационного исчисления	Опрос	Экзамен в устной форме
			Практическая работа	Экзамен в устной форме
		1.3. Задачи на экстремум функционалов	Опрос	Экзамен в устной форме
			Практическая работа	Экзамен в устной форме
		1.4. Синтез оптимальных систем с помощью вариационного исчисления	Опрос	Экзамен в устной форме
			Практическая работа	Экзамен в устной форме
		1.5. Принцип максимума Понтрягина	Опрос	Экзамен в устной форме
			Практическая работа	Экзамен в устной форме
РДЗ	Навык : владения методами синтеза оптимальных линейных регуляторов для линейных стационарных и нестационарных систем	1.1. Понятие об оптимальном управлении	Опрос	Экзамен в устной форме
			Практическая работа	Экзамен в устной форме
		1.2. Элементы вариационного исчисления	Опрос	Экзамен в устной форме
			Практическая работа	Экзамен в устной форме
		1.3. Задачи на экстремум функционалов	Опрос	Экзамен в устной форме
			Практическая работа	Экзамен в устной форме
		1.6. Принцип оптимальности Беллмана	Опрос	Экзамен в устной форме
			Практическая работа	Экзамен в устной форме

4 Описание процедуры оценивания

Качество сформированности компетенций на данном этапе оценивается по результатам текущих и промежуточных аттестаций при помощи количественной оценки, выраженной в баллах. Максимальная сумма баллов по дисциплине (модулю) равна 100 баллам.

Вид учебной деятельности	Оценочное средство			
	Опрос	Практические работы	Экзамен	Итого
Лекции	20			20
Практические занятия		40		40
Самостоятельная работа	10	10		20
Промежуточная аттестация			20	20
Итого	30	50	20	100

Сумма баллов, набранных студентом по всем видам учебной деятельности в рамках дисциплины, переводится в оценку в соответствии с таблицей.

Сумма баллов по дисциплине	Оценка по промежуточной аттестации	Характеристика качества сформированности компетенции
от 91 до 100	«зачтено» / «отлично»	Студент демонстрирует сформированность дисциплинарных компетенций, обнаруживает всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, усвоил основную литературу и знаком с дополнительной литературой, рекомендованной программой, умеет свободно выполнять практические задания, предусмотренные программой, свободно оперирует приобретенными знаниями, умениями, применяет их в ситуациях повышенной сложности.
от 76 до 90	«зачтено» / «хорошо»	Студент демонстрирует сформированность дисциплинарных компетенций: основные знания, умения освоены, но допускаются незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации.
от 61 до 75	«зачтено» / «удовлетворительно»	Студент демонстрирует сформированность дисциплинарных компетенций: в ходе контрольных мероприятий допускаются значительные ошибки, проявляется отсутствие отдельных знаний, умений, навыков по некоторым дисциплинарным компетенциям, студент испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.
от 41 до 60	«не зачтено» / «неудовлетворительно»	У студента не сформированы дисциплинарные компетенции, проявляется недостаточность знаний, умений, навыков.
от 0 до 40	«не зачтено» / «неудовлетворительно»	Дисциплинарные компетенции не сформированы. Проявляется полное или практически полное отсутствие знаний, умений, навыков.

5 Примерные оценочные средства

5.1 Примерные темы для опроса

1. Постановка задачи оптимального управления. Обобщенная структура системы автоматического управления. Критерии оптимизации.
2. Определение и примеры функционалов. Функциональные пространства.
3. Непрерывность и линейность функционалов. Свойства линейных и квадратичных функционалов.
4. Дифференцируемость функционалов. Экстремум функционала. Необходимые и достаточные условия экстремума.
5. Простейшая задача вариационного исчисления.
6. Определение экстремума функционала от нескольких функций.
7. Определение экстремума функционала от функции и ее производных.
8. Понятие задачи на условный экстремум. Задача Лагранжа с голономными связями. Задача Лагранжа с неголономными связями.
9. Изопериметрическая задача. Задача Майера. Задача Больца.
10. Синтез оптимальной по квадратичному критерию линейной системы.
11. Синтез оптимального регулятора методом вариационного исчисления.
12. Основная теорема принципа максимума для функционала общего вида.
13. Принцип максимума для оптимальных по быстродействию нелинейных систем.
14. Оптимальное по быстродействию управление линейными объектами. Теорема об n -интервалах.
15. Синтез оптимальных по квадратичному критерию систем управления. Уравнение Риккати.
16. Оптимальное по расходу топлива управление линейными объектами.
17. Принцип оптимальности Беллмана.
18. Оптимальное управление нестационарными и стационарными системами. Уравнение Беллмана.

19. Синтез оптимального линейного регулятора для линейных нестационарных систем на основе принципа оптимальности Беллмана.

20. Синтез оптимального линейного регулятора для линейных стационарных систем на основе принципа оптимальности Беллмана.

Краткие методические указания

Опрос проводится как специальная беседа преподавателя со студентом на темы, связанные с изучаемой дисциплиной, рассчитанная на выяснение объема знаний студента по определенному разделу, теме, проблеме и т.п. Уровень усвоения теоретического материала проверяется посредством опроса по одному вопросу из каждого представленного выше раздела.

Шкала оценки

Оценка	Баллы	Описание
«отлично»	24–30	Ответ показывает прочные знания основных процессов изучаемой предметной области, отличается глубиной и полнотой раскрытия темы; владение терминологическим аппаратом; умение объяснять сущность, явлений, процессов, событий, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы, приводить примеры; свободное владение монологической речью, логичность и последовательность ответа; умение приводить примеры современных проблем изучаемой области.
«хорошо»	18–23	Ответ, обнаруживающий прочные знания основных процессов изучаемой предметной области, отличается глубиной и полнотой раскрытия темы; владение терминологическим аппаратом; умение объяснять сущность, явлений, процессов, событий, делать выводы и обобщения, давать аргументированные ответы, приводить примеры; свободное владение монологической речью, логичность и последовательность ответа. Однако допускается одна - две неточности в ответе.
«удовлетворительно»	11–17	Ответ, свидетельствующий в основном о знании процессов изучаемой предметной области, отличающийся недостаточной глубиной и полнотой раскрытия темы; знанием основных вопросов теории; слабо сформированными навыками анализа явлений, процессов, недостаточным умением давать аргументированные ответы и приводить примеры; недостаточно свободным владением монологической речью, логичностью и последовательностью ответа. Допускается несколько ошибок в содержании ответа; неумение привести пример развития ситуации, провести связь с другими аспектами изучаемой области.
«не удовлетворительно»	0–10	Ответ, обнаруживающий незнание процессов изучаемой предметной области, отличающийся не глубоким раскрытием темы; незнанием основных вопросов теории, несформированными навыками анализа явлений, процессов; неумением давать аргументированные ответы, слабым владением монологической речью, отсутствием логичности и последовательности. Допускаются серьезные ошибки в содержании ответа; незнание современной проблематики изучаемой области.

5.2 Примеры заданий для выполнения практических работ

Задание 1. Решение задач вариационного исчисления.

Сформулируйте простейшую задачу вариационного исчисления: найти функцию, которая доставляет минимум функционалу, равному интегралу от квадрата её производной на заданном отрезке. Значения функции на концах отрезка закреплены: в начале ноль, в конце единица. Определите экстремаль, проверьте необходимое и достаточное условия. Дополнительно поставьте задачу Лагранжа с голономной связью и объясните, как изменится решение. Затем синтезируйте оптимальную по квадратичному критерию линейную систему методом вариационного исчисления для объекта первого порядка.

Задание 2. Применение принципа максимума для решения задач оптимального управления.

Для линейного объекта второго порядка, описываемого двойным интегрированием, с ограничением на управление найдите оптимальное по быстродействию управление. Определите структуру управления, число интервалов постоянства и вид кривой переключения. Сравните полученное решение с оптимальным по расходу топлива управлением для того же объекта.

Задание 3. Применение принципа оптимальности Беллмана для решения задач оптимального управления.

Для нелинейного объекта второго порядка составьте уравнение Беллмана и найдите закон управления, минимизирующий заданный критерий. Для линейной стационарной системы второго порядка с квадратичным критерием синтезируйте оптимальный линейный регулятор на основе принципа оптимальности Беллмана. Затем выполните аналогичный

синтез для линейной нестационарной системы и объясните, чем отличаются получаемые законы управления.

Краткие методические указания

Для того, чтобы подготовиться к практическому занятию, сначала следует ознакомиться с соответствующим текстом учебника (лекции). Подготовка к практическому занятию начинается после изучения задания и подбора соответствующих литературы и нормативных источников. Работа с литературой может состоять из трёх этапов - чтение, конспектирование и заключительное обобщение сути изучаемой работы. Подготовка к практическим занятиям, подразумевает активное использование справочной литературы (энциклопедий, словарей, альбомов схем и др.) и периодических изданий. Владение понятийным аппаратом изучаемого курса является необходимостью.

Шкала оценки

Оценка	Баллы	Описание
«отлично»	41-50	Обучающийся показывает высокий уровень знаний при выполнении заданий.
«хорошо»	31-40	Обучающийся показывает хороший уровень знаний при выполнении заданий.
«удовлетворительно»	21-30	Обучающийся показывает удовлетворительный уровень знаний при выполнении заданий.
«не удовлетворительно»	0-20	Обучающийся не продемонстрировал знаний по теме при выполнении заданий.

5.3 Вопросы к экзамену

Билет № 1

1. Постановка задачи оптимального управления. Обобщенная структура системы автоматического управления. Критерии оптимизации.

2. Синтез оптимальной по квадратичному критерию линейной системы.

Билет № 2

1. Определение и примеры функционалов. Функциональные пространства.

2. Синтез оптимального регулятора методом вариационного исчисления.

Билет № 3

1. Непрерывность и линейность функционалов. Свойства линейных и квадратичных функционалов.

2. Основная теорема принципа максимума для функционала общего вида.

Билет № 4

1. Дифференцируемость функционалов. Экстремум функционала. Необходимые и достаточные условия экстремума.

2. Принцип максимума для оптимальных по быстродействию нелинейных систем.

Билет № 5

1. Простейшая задача вариационного исчисления.

2. Оптимальное по быстродействию управление линейными объектами. Теорема об n -интервалах.

Краткие методические указания

Экзамен проводится как контроль знаний, которыми обладает студент, на темы, связанные с изучаемой дисциплиной, рассчитанный на выяснение объема знаний студента по определенному разделу, теме, проблеме и т.п. Уровень усвоения материала проверяется посредством оценивания полноты ответа студента по разделам дисциплины в соответствии с контрольными вопросами.

Шкала оценки

Оценка	Баллы	Описание
«отлично»	17-20	Студент демонстрирует сформированность дисциплинарных компетенций, обнаруживает всеороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала. Обучающийся показал систематическое и глубокое знание технических приемов дисциплины, умение применять их на практике, способен свободно и правильно использовать изученные приемы. Все практические работы выполнены на отличном профессиональном уровне.

		Студент выполняет задания в отведенный срок. Выполняет требуемые работы на практических занятиях, а также завершает работу самостоятельно. Проводит самостоятельный поиск дополнительных источников. Работает с основной и дополнительной литературой.
«хорошо»	13-16	Обучающийся показал полное знание теоретического материала, владение техническими приемами дисциплины, умение самостоятельно выполнять задания, способность свободно и правильно использовать полученные навыки, но допускает единичные ошибки, исправляемые после замечания преподавателя. Способен к самостоятельному пополнению и обновлению знаний в ходе дальнейшей учебной работы и профессиональной деятельности. Студент выполняет работы на практических занятиях, а также завершает работу самостоятельно. Частично проводит самостоятельный поиск дополнительных источников. Работает с основной и дополнительной литературой.
«удовлетворительно»	9-12	Студент демонстрирует сформированность дисциплинарных компетенций на недостаточном уровне, допускаются ошибки в выполнении практических работ, проявляется отсутствие отдельных знаний и умений. Допускает существенные ошибки при выполнении заданий, в выборе технических приемов дисциплины, испытывает затруднения и допускает ошибки при выполнении заданий, выполняет задание при подсказке преподавателя. Владеет знанием основных разделов, необходимых для дальнейшего обучения, знаком с основной и рекомендованной литературой, рекомендованной программой. Студент не успевает выполнять задания в отведенный срок. Выполняет работы на практических занятиях, не завершает работу самостоятельно. Не проводит самостоятельный поиск дополнительных источников.
«не удовлетворительно»	0-8	У студента не сформированы дисциплинарные компетенции, проявляется недостаточность знаний, умений, навыков. Студент демонстрирует существенные пробелы в знаниях основного учебного материала, допускает грубые ошибки в основных понятиях дисциплины и при выполнении практических работ. Студент неудовлетворительно выполняет задания. Выполняет не все задания. Не работает самостоятельно.