

АКТУАЛИЗИРОВАНО  
Решением Ученого совета ИЦТЭ КГЭУ  
Протокол №7 от 19.03.2024



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «КГЭУ»)**

«30» 2023 . . .

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

**Б1.В.ДЭ.01.02.06 Оптимальное управление мехатронными системами**

*(Код и наименование дисциплины в соответствии с РУП)*

Направление подготовки

**15.03.06 Мехатроника и робототехника**

*(Код и наименование направления подготовки)*

Квалификация

**Бакалавр**

*(Бакалавр / Магистр)*

г. Казань, 2023

Программу разработал(и):

Наименование кафедры	Должность, уч.степень, уч.звание	ФИО разработчика
ПМ	доцент, к.т.н.	Малёв Н.А.

Согласование	Наименование подразделения	Дата	№ протокола	Подпись
Одобрена	ПМ	16.05.2023	№5	_____ Зав.каф., к.т.н., доц. Козелков О.В.
Согласована	ПМ	16.05.2023	№5	_____ Зав.каф., к.т.н., доц. Козелков О.В.
Согласована	Учебно- методический совет института ИЦТЭ	30.05.2023	№7	_____ Директор , к.т.н., доц. . .
Одобрена	Ученый совет института ИЦТЭ	30.05.2023	№9	_____ . . . . . .

## 1. Цель, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине

*(Цель и задачи освоения дисциплины, соответствующие цели ОП)*

**Целью** освоения дисциплины Б1.В.ДЭ.01.02.06 Оптимальное управление мехатронными системами является развитие у студентов навыков работы с учебной литературой по теории оптимального управления, обучение студентов основным понятиям теории оптимального управления, умению решать типовые задачи управления, умению пользоваться методами теории оптимального управления при решении практических задач и исследовании математических моделей мехатронных и робототехнических систем с целью их оптимизации.

**Задачами** дисциплины является изучение методов оптимального и адаптивного управления мехатронными и робототехническими системами и области их применения; формирование навыков проведения анализа и синтеза типовых функциональных схем адаптивных и оптимальных систем управления; приобретение теоретических знаний и практических навыков по анализу и синтезу адаптивных и оптимальных алгоритмов управления мехатронными и робототехническими системами.

Компетенции и индикаторы, формируемые у обучающихся:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора
ПК-4. Способен проводить вычислительные эксперименты с использованием стандартных программных пакетов с целью исследования математических моделей мехатронных и робототехнических систем	ПК-4.1. Проводит вычислительные эксперименты по исследованию алгоритмов оптимального управления мехатронных и робототехнических систем ПК-4.2. Использует стандартные программные пакеты при исследовании математических моделей мехатронных и робототехнических систем с цифровым управлением

## 2. Место дисциплины в структуре ОП

Предшествующие дисциплины (модули), практики, НИР, др.: «Автоматизированный электропривод», «Исполнительные приводы мехатронных систем» «Преобразователи мехатронных и робототехнических систем», «Управление мехатронными и робототехническими системами», «Программное обеспечение и программирование в профессиональной деятельности», «Математическое моделирование мехатронных и робототехнических систем».

Последующие дисциплины (модули), практики, НИР, др.: «Инжиниринг мехатронных систем», «Управляемый электропривод мехатронных и робототехнических систем», «Проектирование мехатронных систем» Производственная практика (преддипломная), выполнение, подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы.

## 3. Структура и содержание дисциплины

### Структура дисциплины

Для очной формы обучения

Вид учебной работы	Всего ЗЕ	Всего часов	Семестр(ы)		
			8		
ОБЩАЯ ТРУДОЕМКОСТЬ ДИСЦИПЛИНЫ	6	216	216		
КОНТАКТНАЯ РАБОТА*	-	96	96		
АУДИТОРНАЯ РАБОТА	1,66	60	60		
Лекции	0,83	30	30		
Практические (семинарские) занятия	0,83	30	30		
Лабораторные работы	0	0	0		
САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА ОБУЧАЮЩЕГОСЯ	3,33	120	120		
Проработка учебного материала	2,33	84	84		
Курсовой проект	0	0	0		
Курсовая работа	0	0	0		
Подготовка к промежуточной аттестации	1	36	36		
Промежуточная аттестация:			Э		

**Содержание дисциплины, структурированное по разделам и видам занятий**

Разделы дисциплины	Всего часов	Распределение трудоемкости по видам учебной работы				Формы и вид контроля	Индексы индикаторов формируемых компетенций
		лекции	лаб. раб.	пр. зан.	сам. раб.		
Раздел 1. Классическая теория оптимизации	30	6		6	18	ТК1	ПК-4.1.3, ПК-4.1.У, ПК-4.1.В
Раздел 2. Классическое вариационное исчисление	36	8		8	20	ТК2	ПК-4.1.3, ПК-4.1.У, ПК-4.1.В
Раздел 3. Задачи оптимального управления мехатронными и робототехническими системами	38	8		8	22	ТК3	ПК-4.2.3, ПК-4.2.У, ПК-4.2.В
Раздел 4. Алгоритмы адаптивного управления мехатронными и робототехническими системами	40	8		8	24	ТК4	ПК-4.2.3, ПК-4.2.У, ПК-4.2.В
Экзамен	36				36	ОМ	ПК-4.1.3, ПК-4.1.У, ПК-4.1.В, ПК-4.2.3, ПК-4.2.У, ПК-4.2.В
<b>ИТОГО</b>	216	30		30	120		

## Содержание дисциплины

### Раздел 1. Классическая теория оптимизации

Тема 1.1. Безусловная оптимизация. Гладкие задачи без ограничений. Гладкие задачи с ограничениями типа равенств. Правило множителей Лагранжа.

Тема 1.2. Гладкие задачи с ограничениями типа равенств и неравенств. Элементы дифференциального исчисления и выпуклого анализа

Тема 1.3. Методы решения задач линейного программирования; симплекс-метод; методы решения задач без ограничения; градиентные методы; метод Ньютона; методы сопряженных направлений

### Раздел 2. Классическое вариационное исчисление

Тема 2.1. Постановка общей задачи математического программирования. Примеры задач вариационного исчисления. Задача Больца

Тема 2.2. Простейшая задача классического вариационного исчисления

Тема 2.3. Задачи с подвижными концами. Задачи со старшими производными

### Раздел 3. Задачи оптимального управления мехатронными и робототехническими системами

Тема 3.1. Примеры задач оптимального управления

Тема 3.2. Задача Лагранжа. Принцип максимума Понтрягина

### Раздел 4. Алгоритмы адаптивного управления мехатронными и робототехническими системами

Тема 4.1. Системы прямого адаптивного управления

Тема 4.2. Адаптивные системы управления идентификационного типа

Тема 4.3. Методы сигнальной и параметрической адаптации

## Тематический план практических занятий

Номер раздела дисциплины	Темы практических занятий	Трудоемкость, час
1	ПР1. Решение гладких задач без ограничений	2
1	ПР2. Решение гладких задач с ограничениями типа равенств	2
1	ПР3. Решение гладких задач с ограничениями типа равенств и неравенств	2
2	ПР4. Постановка и решение прикладных задач вариационного исчисления	2
2	ПР5. Решение задач Больца	4
2	ПР6. Решение задач с подвижными концами и со старшими производными	4
3	ПР7. Решение задач Лагранжа	4
3	ПР8. Решение задач на принцип максимума Понтрягина	4
4	ПР9. Синтез инверсного идентификатора	4
4	ПР10. Синтез беспойсковой системы с эталонной моделью	2
	Итого	30

## Тематический план лабораторных работ

Данный вид работы не предусмотрен учебным планом

### Курсовая работа

Данный вид работы не предусмотрен учебным планом

## 4. Оценивание результатов обучения

Оценивание результатов обучения по дисциплине осуществляется в рамках текущего контроля и промежуточной аттестации, проводимых по балльно-рейтинговой системе (БРС).

Шкала оценки результатов обучения по дисциплине:

Код компетенции	Код индикатора компетенции	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Уровень сформированности индикатора компетенции				
			Высокий	Средний	Ниже среднего	Низкий	
			от 85 до 100	от 70 до 84	от 55 до 69	от 0 до 54	
			Шкала оценивания				
			отлично	хорошо	удовлетворительно	неудовлетворительно	
			зачтено			не зачтено	
ПК-4	ПК-4.1. Проводит вычислительные эксперименты по исследованию алгоритмов оптимального управления мехатронных и робототехнических систем	знать:	особенности вычислительных экспериментов по исследованию алгоритмов оптимального управления мехатронных и робототехнических систем	демонстрирует знание вычислительных экспериментов по исследованию алгоритмов оптимального управления мехатронных и робототехнических систем	демонстрирует знание вычислительных экспериментов по исследованию алгоритмов оптимального управления мехатронных и робототехнических систем, допуская небольшие неточности	демонстрирует знание вычислительных экспериментов по исследованию алгоритмов оптимального управления мехатронных и робототехнических систем, допуская ошибки	не знает вычислительных экспериментов по исследованию алгоритмов оптимального управления мехатронных и робототехнических систем
		уметь:					
		проводить вычислительные	умеет проводить	умеет проводить	умеет проводить	не способен	

		е эксперименты по исследованию алгоритмов оптимального управления мехатронных и робототехнических систем	ь вычислит ельные эксперименты по исследованию алгоритмов оптимального управления мехатронных и робототехнических систем	ь вычислит ельные эксперименты по исследованию алгоритмов оптимального управления мехатронных и робототехнических систем, допуская небольшие неточности	ь вычислит ельные эксперименты по исследованию алгоритмов оптимального управления мехатронных и робототехнических систем, допуская ошибки	проводит ь вычислит ельные эксперименты по исследованию алгоритмов оптимального управления мехатронных и робототехнических систем
		владеть:				
		навыками проведения вычислительных экспериментов по исследованию алгоритмов оптимального управления мехатронных и робототехнических систем	владеет навыками проведения вычислительных экспериментов по исследованию алгоритмов оптимального управления мехатронных и робототехнических систем	владеет навыками проведения вычислительных экспериментов по исследованию алгоритмов оптимального управления мехатронных и робототехнических систем, допуская небольшие неточности	владеет навыками проведения вычислительных экспериментов по исследованию алгоритмов оптимального управления мехатронных и робототехнических систем, допуская ошибки	не владеет навыками проведения вычислительных экспериментов по исследованию алгоритмов оптимального управления мехатронных и робототехнических систем
	ПК-4.2. Использует стандартные программные пакеты при	знать:				
	е пакеты при	стандартные программные пакеты при исследовании	демонстрирует знание стандартн	демонстрирует знание стандартн	демонстрирует знание стандартн	не знает стандартных программ

	исследования и математических моделей мехатронных и робототехнических систем с цифровым управлением	математических моделей мехатронных и робототехнических систем с цифровым управлением	ых программных пакетов при исследовании математических моделей мехатронных и робототехнических систем с цифровым управлением	ых программных пакетов при исследовании математических моделей мехатронных и робототехнических систем с цифровым управлением, допуская небольшие неточности	ых программных пакетов при исследовании математических моделей мехатронных и робототехнических систем с цифровым управлением, допуская ошибки	ных пакетов при исследовании математических моделей мехатронных и робототехнических систем с цифровым управлением
	уметь:					
	использовать стандартные программные пакеты при исследовании математических моделей мехатронных и робототехнических систем с цифровым управлением	умеет использовать стандартные программные пакеты при исследовании математических моделей мехатронных и робототехнических систем с цифровым управлением	умеет использовать стандартные программные пакеты при исследовании математических моделей мехатронных и робототехнических систем с цифровым управлением, допуская небольшие неточности	умеет использовать стандартные программные пакеты при исследовании математических моделей мехатронных и робототехнических систем с цифровым управлением, допуская ошибки	умеет использовать стандартные программные пакеты при исследовании математических моделей мехатронных и робототехнических систем с цифровым управлением, допуская ошибки	не способен использовать стандартные программные пакеты при исследовании математических моделей мехатронных и робототехнических систем с цифровым управлением
	владеть:					
навыками	владеет	владеет	владеет	владеет	не	



		использования стандартных программных пакетов при исследовании математических моделей мехатронных и робототехнических систем с цифровым управлением	навыками использования стандартных программных пакетов при исследовании математических моделей мехатронных и робототехнических систем с цифровым управлением	навыками использования стандартных программных пакетов при исследовании математических моделей мехатронных и робототехнических систем с цифровым управлением, допуская небольшие неточности	навыками использования стандартных программных пакетов при исследовании математических моделей мехатронных и робототехнических систем с цифровым управлением, допуская ошибки	владеет навыками и использования стандартных программных пакетов при исследовании математических моделей мехатронных и робототехнических систем с цифровым управлением
--	--	---	--	---	---	--

Оценочные материалы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации приведены в Приложении к рабочей программе дисциплины.

Полный комплект заданий и материалов, необходимых для оценивания результатов обучения по дисциплине, хранится на кафедре разработчика.

## 5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### Учебно-методическое обеспечение

#### Основная литература

1. Методы теории оптимального управления: учебное пособие / А. О. Ведякова, Е. В. Милованович, О. В. Слита, В. Ю. Тертычный-Даури. – Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2021. – 219 с.
2. Скляр А. Я. Методы и модели оптимального управления: учебное пособие / А. Я. Скляр. – Москва: РТУ МИРЭА, 2022. – 80 с.
3. Киселёв В. К. Вариационное исчисление и теория оптимального управления: учебное пособие / В. К. Киселёв, Т. Ф. Калугина. – Иваново: ИГЭУ, 2021. – 124 с.
4. Алюшин В. М. Методы оптимального управления: учебное пособие / В. М. Алюшин, Л. В. Колобашкина. – Москва: НИЯУ МИФИ, 2020. – 176 с. – ISBN 978-5-7262-2695-8.

5. Сердобинцев Ю. П. Оптимальное и адаптивное управление: учебное пособие / Ю. П. Сердобинцев, М. П. Кухтик. – Волгоград: ВолгГТУ, 2019. – 112 с. – ISBN 978-5-9948-3552-4.



#### Дополнительная литература

1. Алексеев В. М. Оптимальное управление: учебно-методическое пособие / В. М. Алексеев, В. М. Тихомиров, С. В. Фомин. – 4-е изд., испр. и доп. – Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2018. – 384 с. – ISBN 978-5-9221-1789-0.

2. Матвеев А. С. Введение в математическую теорию оптимального управления / А. С. Матвеев. – Санкт-Петербург: СПбГУ, 2018. – 194 с. – ISBN 978-5-288-05809-7.

3. Погодицкий О.В., Малёв Н.А. Проектирование мехатронных систем. В 2 ч. Ч. 1. Анализ и синтез: учебное пособие / О.В. Погодицкий, Н.А. Малёв. – Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2018. – 312 с.

4. Оптимальное управление в технических системах. Практикум: учебное пособие / Е. А. Балашова, Ю. П. Барметов, В. К. Битюков, Е. А. Хромых. – Воронеж: ВГУИТ, 2017. – 287 с. – ISBN 978-5-00032-307-6.

5. Галеев Э. М. Оптимальное управление: монография / Э. М. Галеев, М. И. Зеликин, С. В. Конягин. – Москва: МЦНМО, 2008. – 320 с. – ISBN 978-5-94057-367-8.

### Информационное обеспечение

#### Электронные и интернет-ресурсы

№ п/п	Наименование электронных и интернет-ресурсов	Электронный адрес
1	Электронно-библиотечная система «Лань»	<a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>
2	Электронно-библиотечная система «ibooks.ru»	<a href="https://ibooks.ru/">https://ibooks.ru/</a>
3	Электронно-библиотечная система «book.ru»	<a href="https://www.book.ru/">https://www.book.ru/</a>
4	Портал "Открытое образование"	<a href="http://npoed.ru">http://npoed.ru</a>

#### Профессиональные базы данных / Информационно-справочные системы

№ п/п	Наименование	Краткое описание	Режим доступа
1	eLIBRARY.RU	Крупнейший российский информационно-аналитический портал в области науки и техники	<a href="http://www.elibrary.ru">www.elibrary.ru</a> Доступ свободный Необходима индивидуальная регистрация в локальной сети вуза
2	eLIBRARY.ru (Архив журналов РАН)	Российская академия наук и издательство «Наука» открыли свободный доступ к архивам журналов РАН на платформе eLIBRARY.ru	<a href="https://elibrary.ru/titlerefgroup.asp?titlerefgroupid=3">https://elibrary.ru/titlerefgroup.asp?titlerefgroupid=3</a> Доступ свободный Необходима индивидуальная регистрация в локальной сети вуза

3	Russian Science Citation Index (RSCI)	В рамках поддержки национального проекта «Наука» и решения задачи по повышению уровня отечественных научных журналов РАН, совместно с компаниями Clarivate Analytics и НЭБ (eLibrary) был создан российский индекс цитирования, Russian Science Citation Index, или «русская полка» журналов на платформе Web of Scince.	<a href="http://clarivate.ru">clarivate.ru</a> Доступ свободный
4	Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам"	Ресурс обеспечивает свободный доступ к интегральному каталогу образовательных интернет-ресурсов, к электронной библиотеке учебно-методических материалов для общего и профессионального образования	<a href="http://window.edu.ru/">http://window.edu.ru/</a> Доступ свободный

**Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение дисциплины**

№ п/п	Наименование программного обеспечения	Способ распространения (лицензионное/свободно)	Реквизиты подтверждающих документов
1	Браузер Google Chrome	Система поиска информации в сети интернет	Свободная лицензия Неискл. право. Бессрочно
2	Windows 7 Профессиональная (Starter)	Пользовательская операционная система	ЗАО "СофтЛайнТрейд" №2011.25486 от 28.11.2011 Неискл. право. Бессрочно
3	Adobe Acrobat	Пакет программ для создания и просмотра файлов формата PDF	Свободная лицензия Неискл. право. Бессрочно
4	LMS Moodle	ПО для эффективного	Свободная лицензия

		онлайн-взаимодействия преподавателя и студента	Неискл. право. Бессрочно
5	MatLab	Пакет прикладных программ для решения задач технических вычислений	Academic new Product From 10 to 24 Group Licenses (per License): договор №2013.39442, лицензиар – ЗАО «Софт Лайн Трейд», тип (вид) лицензии – неискл. право, срок действия лицензии - бессрочно.

## 6. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Наименование вида учебной работы	Наименование учебной аудитории, специализированной лаборатории	Перечень необходимого оборудования и технических средств обучения
Лекции	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа	Специализированная учебная мебель, технические средства обучения, служащие для представления учебной информации большой аудитории (мультимедийный проектор, компьютер (ноутбук), экран), демонстрационное оборудование, учебно-наглядные пособия
Практические занятия	Компьютерный класс с выходом в Интернет А-323	Специализированная учебная мебель, интерактивная доска, проектор, компьютер в комплекте с монитором (16 шт.), лицензионное программное обеспечение
Самостоятельная работа	Компьютерный класс с выходом в Интернет В-600а	Специализированная учебная мебель на 30 посадочных мест, 30 компьютеров, технические средства обучения (мультимедийный проектор, компьютер (ноутбук), экран), видеокамеры, программное обеспечение
	Читальный зал библиотеки	Специализированная мебель, компьютерная техника с возможностью выхода в Интернет и обеспечением доступа в ЭИОС, экран, мультимедийный проектор, программное обеспечение

## 7. Особенности организации образовательной деятельности для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Лица с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) и инвалиды имеют возможность беспрепятственно перемещаться из одного учебно-лабораторного корпуса в другой, подняться на все этажи учебно-лабораторных корпусов, заниматься в учебных и иных помещениях с учетом особенностей психофизического развития и состояния здоровья.

Для обучения лиц с ОВЗ и инвалидов, имеющих нарушения опорно-двигательного аппарата, обеспечены условия беспрепятственного доступа во

все учебные помещения. Информация о специальных условиях, созданных для обучающихся с ОВЗ и инвалидов, размещена на сайте университета [www//kgeu.ru](http://www//kgeu.ru). Имеется возможность оказания технической помощи ассистентом, а также услуг сурдопереводчиков и тифлосурдопереводчиков.

Для адаптации к восприятию лицами с ОВЗ и инвалидами с нарушенным слухом справочного, учебного материала по дисциплине обеспечиваются следующие условия:

- для лучшей ориентации в аудитории, применяются сигналы оповещения о начале и конце занятия (слово «звонок» пишется на доске);
- внимание слабослышащего обучающегося привлекается педагогом жестом (на плечо кладется рука, осуществляется нерезкое похлопывание);
- разговаривая с обучающимся, педагогический работник смотрит на него, говорит ясно, короткими предложениями, обеспечивая возможность чтения по губам.

Компенсация затруднений речевого и интеллектуального развития слабослышащих обучающихся проводится путем:

- использования схем, диаграмм, рисунков, компьютерных презентаций с гиперссылками, комментирующими отдельные компоненты изображения;
- регулярного применения упражнений на графическое выделение существенных признаков предметов и явлений;
- обеспечения возможности для обучающегося получить адресную консультацию по электронной почте по мере необходимости.

Для адаптации к восприятию лицами с ОВЗ и инвалидами с нарушениями зрения справочного, учебного, просветительского материала, предусмотренного образовательной программой по выбранному направлению подготовки, обеспечиваются следующие условия:

- ведется адаптация официального сайта в сети Интернет с учетом особых потребностей инвалидов по зрению, обеспечивается наличие крупношрифтовой справочной информации о расписании учебных занятий;
- педагогический работник, его собеседник (при необходимости), присутствующие на занятии, представляются обучающимся, при этом каждый раз называется тот, к кому педагогический работник обращается;
- действия, жесты, перемещения педагогического работника коротко и ясно комментируются;
- печатная информация предоставляется крупным шрифтом (от 18 пунктов), тотально озвучивается;
- обеспечивается необходимый уровень освещенности помещений;
- предоставляется возможность использовать компьютеры во время занятий и право записи объяснений на диктофон (по желанию обучающихся).

Форма проведения текущей и промежуточной аттестации для обучающихся с ОВЗ и инвалидов определяется педагогическим работником в соответствии с учебным планом. При необходимости обучающемуся с ОВЗ, инвалиду с учетом их индивидуальных психофизических особенностей дается возможность пройти промежуточную аттестацию устно, письменно на бумаге, письменно на компьютере, в форме тестирования и т.п., либо предоставляется

дополнительное время для подготовки ответа.

## **8. Методические рекомендации для преподавателей по организации воспитательной работы с обучающимися.**

Методическое обеспечение процесса воспитания обучающихся выступает одним из определяющих факторов высокого качества образования. Преподаватель вуза, демонстрируя высокий профессионализм, эрудицию, четкую гражданскую позицию, самодисциплину, творческий подход в решении профессиональных задач, в ходе образовательного процесса способствует формированию гармоничной личности.

При реализации дисциплины преподаватель может использовать следующие методы воспитательной работы:

- методы формирования сознания личности (беседа, диспут, внушение, инструктаж, контроль, объяснение, пример, самоконтроль, рассказ, совет, убеждение и др.);

- методы организации деятельности и формирования опыта поведения (задание, общественное мнение, педагогическое требование, поручение, приучение, создание воспитывающих ситуаций, тренинг, упражнение, и др.);

- методы мотивации деятельности и поведения (одобрение, поощрение социальной активности, порицание, создание ситуаций успеха, создание ситуаций для эмоционально-нравственных переживаний, соревнование и др.)

При реализации дисциплины преподаватель должен учитывать следующие направления воспитательной деятельности:

*Гражданское и патриотическое воспитание:*

- формирование у обучающихся целостного мировоззрения, российской идентичности, уважения к своей семье, обществу, государству, принятым в семье и обществе духовно-нравственным и социокультурным ценностям, к национальному, культурному и историческому наследию, формирование стремления к его сохранению и развитию;

- формирование у обучающихся активной гражданской позиции, основанной на традиционных культурных, духовных и нравственных ценностях российского общества, для повышения способности ответственно реализовывать свои конституционные права и обязанности;

- развитие правовой и политической культуры обучающихся, расширение конструктивного участия в принятии решений, затрагивающих их права и интересы, в том числе в различных формах самоорганизации, самоуправления, общественно-значимой деятельности;

- формирование мотивов, нравственных и смысловых установок личности, позволяющих противостоять экстремизму, ксенофобии, дискриминации по социальным, религиозным, расовым, национальным признакам, межэтнической и межконфессиональной нетерпимости, другим негативным социальным явлениям.

*Духовно-нравственное воспитание:*

- воспитание чувства достоинства, чести и честности, совестливости, уважения к родителям, учителям, людям старшего поколения;

- формирование принципов коллективизма и солидарности, духа милосердия и сострадания, привычки заботиться о людях, находящихся в трудной жизненной ситуации;

- формирование солидарности и чувства социальной ответственности по отношению к людям с ограниченными возможностями здоровья, преодоление психологических барьеров по отношению к людям с ограниченными возможностями;

- формирование эмоционально насыщенного и духовно возвышенного отношения к миру, способности и умения передавать другим свой эстетический опыт.

*Культурно-просветительское воспитание:*

- формирование эстетической картины мира;

- формирование уважения к культурным ценностям родного города, края, страны;

- повышение познавательной активности обучающихся.

*Научно-образовательное воспитание:*

- формирование у обучающихся научного мировоззрения;

- формирование умения получать знания;

- формирование навыков анализа и синтеза информации, в том числе в профессиональной области.

**Вносимые изменения и утверждения на новый учебный год**

№ п/п	№ раздела внесения изменений	Дата внесения изменений	Содержание изменений	«Согласовано» Зав. каф. реализующей дисциплину	«Согласовано» председатель УМК института (факультета), в состав которого входит выпускающая
1	2	3	4	5	6
1					
2					
3					



*Приложение к рабочей  
программе дисциплины*



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «КГЭУ»)

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ  
по дисциплине**

**Б1.В.ДЭ.01.02.06 Оптимальное управление мехатронными системами**

*(Наименование дисциплины в соответствии с учебным планом)*

Направление подготовки

15.03.06 Мехатроника и робототехника

*(Код и наименование направления подготовки)*

Квалификация

Бакалавр

*(Бакалавр / Магистр)*

г. Казань, 2023

Оценочные материалы по дисциплине Б1.В.ДЭ.01.02.06 Оптимальное управление мехатронными системами, предназначенные для оценивания результатов обучения на соответствие индикаторам достижения компетенций.

Оценивание результатов обучения по дисциплине осуществляется в рамках текущего контроля (ТК) и промежуточной аттестации, проводимых по балльно-рейтинговой системе (БРС).

## 1. Технологическая карта

### Семестр 8

Наименование раздела	Формы и вид контроля	Рейтинговые показатели									
		I текущий контроль	Дополнительные баллы к ТК1	II текущий контроль	Дополнительные баллы к ТК2	III текущий контроль	Дополнительные баллы к ТК3	IV текущий контроль	Дополнительные баллы к ТК4	Итого	Промежуточная аттестация
<b>Раздел 1. «Классическая теория оптимизации»</b>	<b>ТК1</b>	<b>13</b>	<b>0-12</b>							<b>13-25</b>	<b>13-25</b>
Письменный опрос		4	0-4								
Защита практической работы		4	0-4								
Опрос по разделу		5	0-4								
<b>Раздел 2. «Классическое вариационное исчисление»</b>	<b>ТК2</b>			<b>13</b>	<b>0-12</b>					<b>13-25</b>	<b>13-25</b>
Письменный опрос				4	0-4						
Защита практической работы				4	0-4						
Опрос по разделу				5	0-4						
<b>Раздел 3. «Задачи оптимального управления мехатронными и робототехническими системами»</b>	<b>ТК3</b>					<b>13</b>	<b>0-12</b>			<b>13-25</b>	<b>13-25</b>
Письменный опрос						4	0-4				
Защита практической работы						4	0-4				
Опрос по разделу						5	0-4				
<b>Раздел 4. «Алгоритмы адаптивного управления мехатронными и</b>	<b>ТК4</b>							<b>13</b>	<b>0-12</b>	<b>13-25</b>	<b>13-25</b>

<b>робототехническими системами»</b>											
Письменный опрос								4	0-4		
Защита практической работы								4	0-4		
Опрос по разделу								5	0-4		
<b>Промежуточная аттестация (экзамен)</b>	<b>ОМ</b>										<b>0-45</b>
Задание промежуточной аттестации											0-15
В письменной форме по билетам											0-30

## 2. Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации

Шкала оценки результатов обучения по дисциплине:

Код компетенции	Код индикатора компетенции	Запланированные результаты обучения по дисциплине	Уровень сформированности индикатора компетенции			
			Высокий	Средний	Ниже среднего	Низкий
			от 85 до 100	от 70 до 84	от 55 до 69	от 0 до 54
			Шкала оценивания			
			отлично	хорошо	удовлетворительно	неудовлетворительно
			зачтено			не зачтено
ПК-4	ПК-4.1. Проводит вычислительные эксперименты по исследованию алгоритмов оптимального управления мехатронных и робототехнических систем	знать: особенности вычислительных экспериментов по исследованию алгоритмов оптимального управления мехатронных и робототехнических систем	демонстрирует знание вычислительных экспериментов по исследованию алгоритмов оптимального управления мехатронных и робототехнических систем	демонстрирует знание вычислительных экспериментов по исследованию алгоритмов оптимального управления мехатронных и робототехнических систем, допуская небольшие неточности	демонстрирует знание вычислительных экспериментов по исследованию алгоритмов оптимального управления мехатронных и робототехнических систем, допуская ошибки	не знает вычислительных экспериментов по исследованию алгоритмов оптимального управления мехатронных и робототехнических систем

			и			
		уметь:				
	проводить вычислительные эксперименты по исследованию алгоритмов оптимального управления мехатронных и робототехнических систем	умеет проводить вычислительные эксперименты по исследованию алгоритмов оптимального управления мехатронных и робототехнических систем	умеет проводить вычислительные эксперименты по исследованию алгоритмов оптимального управления мехатронных и робототехнических систем, допуская небольшие неточности	умеет проводить вычислительные эксперименты по исследованию алгоритмов оптимального управления мехатронных и робототехнических систем, допуская ошибки	не способен проводить вычислительные эксперименты по исследованию алгоритмов оптимального управления мехатронных и робототехнических систем	
		владеть:				
	навыками проведения вычислительных экспериментов по исследованию алгоритмов оптимального управления мехатронных и робототехнических систем	владеет навыками проведения вычислительных экспериментов по исследованию алгоритмов оптимального управления мехатронных и робототехнических систем	владеет навыками проведения вычислительных экспериментов по исследованию алгоритмов оптимального управления мехатронных и робототехнических систем, допуская небольшие неточности	владеет навыками проведения вычислительных экспериментов по исследованию алгоритмов оптимального управления мехатронных и робототехнических систем, допуская ошибки	не владеет навыками проведения вычислительных экспериментов по исследованию алгоритмов оптимального управления мехатронных и робототехнических систем	
ПК-4.2.	знать:					

Использует стандартные программные пакеты при исследовании математических моделей мехатронных и робототехнических систем с цифровым управлением	стандартные программные пакеты при исследовании математических моделей мехатронных и робототехнических систем с цифровым управлением	демонстрирует знание стандартных программных пакетов при исследовании математических моделей мехатронных и робототехнических систем с цифровым управлением	демонстрирует знание стандартных программных пакетов при исследовании математических моделей мехатронных и робототехнических систем с цифровым управлением, допуская небольшие неточности	демонстрирует знание стандартных программных пакетов при исследовании математических моделей мехатронных и робототехнических систем с цифровым управлением, допуская ошибки	не знает стандартных программных пакетов при исследовании математических моделей мехатронных и робототехнических систем с цифровым управлением
Использует стандартные программные пакеты при исследовании математических моделей мехатронных и робототехнических систем с цифровым управлением	использовать стандартные программные пакеты при исследовании математических моделей мехатронных и робототехнических систем с цифровым управлением	умеет использовать стандартные программные пакеты при исследовании математических моделей мехатронных и робототехнических систем с цифровым управлением	умеет использовать стандартные программные пакеты при исследовании математических моделей мехатронных и робототехнических систем с цифровым управлением, допуская небольшие	умеет использовать стандартные программные пакеты при исследовании математических моделей мехатронных и робототехнических систем с цифровым управлением, допуская ошибки	не способен использовать стандартные программные пакеты при исследовании математических моделей мехатронных и робототехнических систем с цифровым управлением

				неточност и		
		владеть:				
		навыками использования стандартных пакетов при исследовании математических моделей мехатронных и робототехнических систем с цифровым управлением	владеет навыками использования стандартных программных пакетов при исследовании математических моделей мехатронных и робототехнических систем с цифровым управлением	владеет навыками использования стандартных программных пакетов при исследовании математических моделей мехатронных и робототехнических систем с цифровым управлением, допуская небольшие неточности	владеет навыками использования стандартных программных пакетов при исследовании математических моделей мехатронных и робототехнических систем с цифровым управлением, допуская ошибки	не владеет навыками использования стандартных программных пакетов при исследовании математических моделей мехатронных и робототехнических систем с цифровым управлением

Оценка **«отлично»** выставляется за выполнение за верно выполненные задания практических занятий и письменных опросов; глубокое понимание основных принципов управления, методов анализа и расчета мехатронных систем; умение создавать в объектно-ориентированных средах программирования программы для решения конкретных инженерных задач; демонстрацию навыков решения типовых и системных задач, связанных с профессиональной деятельностью; полные и содержательные ответы на вопросы экзаменационного билета.

Оценка **«хорошо»** выставляется за большинство верно выполненных заданий практических занятий и письменных опросов; хорошее владение методами анализа и расчета мехатронных систем; умение создавать в объектно-ориентированных средах программирования программы для решения конкретных инженерных задач; достаточно полные и содержательные ответы на вопросы экзаменационного билета.

Оценка **«удовлетворительно»** выставляется при 60% верно выполненных заданий практических занятий и письменных опросов; среднее понимание методов теории автоматического управления; посредственные способности применения методов анализа и расчета мехатронных систем; посредственные ответы на вопросы экзаменационного билета.

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется за слабое и неполное выполнение заданий практических занятий и тестов; отсутствие понимания основ теории автоматического управления; неспособность применять методы анализа и расчета мехатронных систем; отсутствие ответов на вопросы экзаменационного билета.

### 3. Перечень оценочных средств

Краткая характеристика оценочных средств, используемых при текущем контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающегося по дисциплине:

Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Описание оценочного средства
Конспектирование учебного материала	Краткое текстовое представление переработанной информации	Перечень разделов
Практическое задание (ПЗ)	Средство оценки умения применять полученные теоретические знания в практической ситуации. Задание направлено на оценивание компетенций по дисциплине, содержит четкую инструкцию по выполнению или алгоритм действий	Комплект задач и заданий
Опрос по разделам (темам)	Знание основных понятий темы/раздела/дисциплины	Перечень определений основных понятий темы/дисциплины

### 4. Перечень контрольных заданий или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений и навыков, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения дисциплины

Для текущего контроля ТК1:

Проверяемая компетенция: ПК-4.1

1. Формализация задач. Основные этапы формализации.
2. Основные понятия, связанные с экстремальными задачами.
3. Привести примеры формализации экстремальных задач (задача Архимеда).
4. Безусловная оптимизация. Гладкие задачи без ограничений.
5. Постановка задачи безусловной оптимизации. Необходимые и достаточные условия экстремума первого и второго порядка.
6. Схема поиска безусловных экстремумов функций. Критерий Сильвестра.
7. Гладкая конечномерная задача с ограничениями типа равенств.
8. Постановка задачи. Правило множителей Лагранжа (Теорема).
9. Необходимое и достаточное условие экстремума второго порядка.
10. Правило решения задач с ограничениями типа равенств. Критерий Сильвестра.
11. Гладкие задачи с ограничениями типа равенств и неравенств.
12. Постановка задачи. Правило решения.
13. Постановка задачи. Необходимые условия экстремума.

14. Задачи выпуклого программирования.
15. Постановка задачи. Основные понятия.
16. Лемма о локальном минимуме в выпуклой задаче.
17. Теорема Куна-Таккера.

**Для текущего контроля ТК2:**

Проверяемая компетенция: ПК-4.1

1. Постановка общей задачи математического программирования.
2. Постановка задачи Больца. Основные понятия. Правило решения.
3. Необходимое условие экстремума для задачи Больца (Теорема).
4. Простейшая задача классического вариационного исчисления. Основные понятия. Правило решения.
5. Необходимое условие экстремума простейшей задачи (Теорема).
6. Задача с подвижными концами. Основные понятия. Правило решения.
7. Необходимое условие экстремума для задачи с подвижными концами (Теорема).
8. Изопериметрическая задача. Постановка. Основные понятия. Правило решения.
9. Необходимое условие экстремума для изопериметрической задачи (Теорема).
10. Постановка задачи со старшими производными. Основные понятия. Правило решения.
11. Необходимое условие экстремума для задачи со старшими производными (Теорема).

**Для текущего контроля ТК3:**

Проверяемая компетенция: ПК-4.2

1. Формализация задачи.
2. Основные этапы формализации (построения математической модели).
3. Элементы формализованной задачи.
4. Абсолютный минимум (максимум).
5. Локальный минимум (максимум).
6. Переход от задач на максимум к задачам на минимум.
7. Определение критического множества.
8. Безусловная оптимизация. Постановка гладкой задачи без ограничений.
9. Теорема – Необходимое условие экстремума первого порядка.
10. Стационарные точки. Условие стационарности.
11. Матрица Гессе.
12. Теорема – Необходимое условие экстремума второго порядка.
13. Теорема – Достаточное условие экстремума второго порядка.
14. Критерий Сильвестра.
15. Схема поиска безусловных экстремумов.
16. Теорема Вейерштрасса и ее следствие.

**Для текущего контроля ТК4:**

Проверяемая компетенция: ПК-4.2



1. Определение отрезка.
2. Выпуклое множество, выпуклая и вогнутая функции.
3. Геометрическая интерпретация выпуклости функции.
4. Примеры выпуклых и вогнутых функций.
5. Критерий выпуклости функций.
6. Отделимые и строго отделимые множества.
7. Первая теорема отделимости в конечномерном случае.
8. Супремум и инфимум функции.
9. Постановка задачи выпуклого программирования.
10. Свойства задач выпуклого программирования
11. Системы прямого адаптивного управления
12. Адаптивные системы управления идентификационного типа
13. Схемы программирования дискретных систем управления: последовательное программирование
14. Схемы программирования дискретных систем управления: параллельное программирование
15. Методы сигнальной адаптации
16. Методы параметрической адаптации
17. Способы снижения порядка моделей чувствительности
18. Способы формирования эталонных моделей адаптивных систем.

#### **Для промежуточной аттестации (экзамен):**

Экзамен является итоговой формой оценки знаний студентов, приобретенных в результате изучения дисциплины « Оптимальное управление мехатронными системами ».

Экзамен проводится в письменной форме с дальнейшим собеседованием. Студент выбирает билет, содержащий 2 вопроса из базового и продвинутого уровня, задания высокого уровня задаются дополнительно. Билеты формируются преподавателем перед зачетно-экзаменационной сессией.

#### **Базовый уровень**

1. Формализация задач. Основные этапы формализации.
2. Основные понятия, связанные с экстремальными задачами.
3. Привести примеры формализации экстремальных задач (задача Архимеда).
4. Безусловная оптимизация. Гладкие задачи без ограничений.
5. Постановка задачи безусловной оптимизации. Необходимые и достаточные условия экстремума первого и второго порядка.
6. Схема поиска безусловных экстремумов функций. Критерий Сильвестра.
7. Гладкая конечномерная задача с ограничениями типа равенств.
8. Постановка задачи. Правило множителей Лагранжа (Теорема).
9. Необходимое и достаточное условие экстремума второго порядка.
10. Правило решения задач с ограничениями типа равенств. Критерий Сильвестра.
11. Гладкие задачи с ограничениями типа равенств и неравенств.

12. Постановка задачи. Правило решения.
13. Постановка задачи. Необходимые условия экстремума.
14. Задачи выпуклого программирования.
15. Постановка задачи. Основные понятия.
16. Лемма о локальном минимуме в выпуклой задаче.
17. Теорема Куна-Таккера.
18. Постановка общей задачи математического программирования.
19. Постановка задачи Больца. Основные понятия. Правило решения.
20. Необходимое условие экстремума для задачи Больца (Теорема).
21. Простейшая задача классического вариационного исчисления. Основные понятия. Правило решения.
22. Необходимое условие экстремума простейшей задачи (Теорема).
23. Задача с подвижными концами. Основные понятия. Правило решения.
24. Необходимое условие экстремума для задачи с подвижными концами (Теорема).
25. Изопериметрическая задача. Постановка. Основные понятия. Правило решения.
26. Необходимое условие экстремума для изопериметрической задачи (Теорема).
27. Постановка задачи со старшими производными. Основные понятия. Правило решения.
28. Необходимое условие экстремума для задачи со старшими производными (Теорема).
29. Постановка задачи Лагранжа. Основные понятия. Правило решения.
30. Теорема Эйлера-Лагранжа (формулировка).
31. Постановка задачи оптимального управления в форме Понтрягина. Основные понятия.
32. Правило решения задачи оптимального управления (в форме Понтрягина).
33. Принцип максимума Понтрягина. Необходимые условия экстремума (формулировка).

### **Продвинутый уровень**

1. Методология выбора минимизируемого функционала: задача Больца
2. Методология выбора минимизируемого функционала: задача Лагранжа
3. Методология выбора минимизируемого функционала: задача Майера
4. Оптимизация с применением метода штрафных функций
5. Принцип минимума обобщённой работы
6. Целевые функции с насыщением
7. Правило равных вкладов максимальных отклонений
8. Итерационная коррекция
9. Функционал с аддитивной функцией затрат на управление
10. Функционал с аддитивной квадратичной функцией затрат на управление

11. Квадратичный функционал Летова-Калмана
12. Вариационное исчисление: постановка задачи
13. Вариационное исчисление: задача со свободным правым концом и заданным временем переходного процесса
14. Вариационное исчисление: уравнения Эйлера-Лагранжа
15. Принцип максимума Понтрягина: постановка задачи
16. Принцип максимума Понтрягина: игольчатое варьирование управления
17. Принцип максимума Понтрягина: каноническая система Гамильтона
18. Принцип максимума Понтрягина: конус достижимости
19. Классификация САУ по принципам адаптивности и оптимальности
20. Адаптивные оптимальные САУ с полной эталонной моделью
21. Беспойсковые градиентные адаптивные системы
22. Метод вспомогательного оператора
23. Последовательная коррекция: настройка на технический оптимум
24. Последовательная коррекция: настройка на симметричный оптимум
25. Последовательная коррекция: настройка на линейный оптимум
26. Понятие запретной области
27. Дискретная аппроксимация методом трапеций
28. Свойства z-преобразования
29. Схемы программирования дискретных систем управления: непосредственное программирование
30. Графоаналитический способ синтеза корректирующего устройства
31. Аналитический способ синтеза корректирующего устройства
32. Расчет ПИД-регулятора с комплексно-сопряженными полюсами
33. Системы прямого адаптивного управления
34. Адаптивные системы управления идентификационного типа
35. Схемы программирования дискретных систем управления: последовательное программирование
36. Схемы программирования дискретных систем управления: параллельное программирование
37. Методы сигнальной адаптации
38. Методы параметрической адаптации
39. Способы снижения порядка моделей чувствительности
40. Способы формирования эталонных моделей адаптивных систем.

### Высокий уровень

1. Решить задачу оптимального управления в форме Понтрягина

$$\int_0^4 (\dot{x}^2 + x) dt \rightarrow \inf; \quad |x| \leq 1, \quad x(0) = 0$$

$$\begin{array}{l} \text{2. Решить задачу Больца} \\ \int_0^1 (\dot{x}^2 - x^2) dt + x^2(0) - x^2(1) \Big|_{(2)} \Big|_{(2)} + 4x \Big|_{(2)} \Big|_{(2)} \rightarrow \text{extr} \end{array}$$

3. Решить задачу оптимального управления в форме Понтрягина

$$\int_0^{T_0} (\bar{x}^2 + x) dt \rightarrow \text{extr}, \quad |\bar{x}| \leq 1, \quad x(0) = 0, \quad x(T_0) = 0.$$

4. Решить задачу Больца  $\int_0^\pi (\bar{x}^2 + x^2 - 4x \sin t) dt + 2x^2(0) + 2x(\pi) - x^2(\pi) \rightarrow \text{extr}.$

5. Решить задачу Лагранжа

$$\int_0^{\pi/2} u^2 dt + x^2(0) \rightarrow \text{extr}, \quad \bar{x} + x = u, \quad x\left(\frac{\pi}{2}\right) = \bar{x}(0) = 0, \quad \bar{x}\left(\frac{\pi}{2}\right) = 1.$$

6. Решить задачу с подвижными концами  $\int_0^T \bar{x}^3 dt \rightarrow \text{extr}, \quad x(0) = 0, \quad T + x(T) = 1.$

7. Решить задачу Лагранжа  $\int_0^1 u^2 dt \rightarrow \text{extr}, \quad \bar{x} - x = u, \quad x(0) = 1, \quad \bar{x}(0) = 0.$

8. Решить задачу с подвижными концами

$$\int_0^T (\bar{x}^2 + x^2) dt \rightarrow \text{extr}, \quad x(0) = 0, \quad x(T) + T + 1 = 0.$$