

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Исаева Марина Шариповна

Должность: Ректор

Дата подписания: 24.06.2026 14:38:11

Уникальный программный ключ:

236b5c35c2901170b5aaf0c22856b210b9248c07971a80865a3823f9a4504ce

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ГРОЗНЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЯНОЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА М.Д.МИЛЛИОНЩИКОВА»**

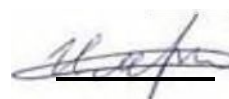
Кафедра «Автоматизация технологических процессов и производств»

УТВЕРЖДЕН

на заседании кафедры «23»

04.2026 г., протокол №10

Заведующий кафедрой



Исаева М.Р.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

Математическое моделирование и анализ нелинейных робототехнических систем

Направление подготовки

15.04.04 Автоматизация технологических процессов и производств

Направленность

«Робототехнические системы автоматизированного управления»

Квалификация

Магистр

Составитель



А.А.-В. Садулаев

Грозный – 2026

ПАСПОРТ ФОНДА ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ

Математическое моделирование и анализ нелинейных робототехнических систем

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
1.	Раздел 1. Кинематика манипуляторов. Метод Денавита-Хартенберга	ОПК-5	Собеседование, практические задания, коллоквиум
2.	Раздел 2. Обратная задача кинематики. Аналитические и численные методы	ОПК-5, ПК-1	Практические задания, защита лабораторных работ
3.	Раздел 3. Динамика манипуляторов. Уравнения Эйлера-Лагранжа	ОПК-5	Коллоквиум, курсовой проект
4.	Раздел 4. Планирование траекторий. Методы полиномиальной интерполяции	ПК-1	Практические задания, экзамен
5.	Раздел 5. Моделирование в среде MATLAB/Simulink. Robotic System Toolbox	ОПК-5, ПК-1	Курсовой проект, экзамен

ПЕРЕЧЕНЬ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

№ п/п	Наименование оценочного средства	Краткая характеристика оценочного средства	Представление оценочного средства в фонде
1.	Собеседование, устный опрос	Средство контроля, организованное как специальная беседа преподавателя с обучающимся на темы, связанные с изучаемой дисциплиной, рассчитанное на выяснение объема знаний по определенному разделу, теме, проблеме	Вопросы по темам/разделам дисциплины для собеседования и коллоквиума
2.	Практические задания	Средство контроля, позволяющее оценить умения и навыки обучающихся по решению конкретных задач моделирования робототехнических систем с использованием MATLAB	Комплект заданий для выполнения на практических занятиях в

			компьютерном классе
3.	Курсовой проект	Продукт самостоятельной работы магистранта, представляющий собой комплексное исследование по моделированию робототехнической системы с оформлением отчёта по ГОСТ	Тематика курсовых проектов, критерии оценки
4.	Экзамен	Итоговая форма оценки знаний, включающая теоретический вопрос и практическое задание в среде MATLAB	Экзаменационные билеты, вопросы к экзамену

Содержание фонда оценочных средств

Оценивание результатов обучения студентов по дисциплине осуществляется по регламенту текущего контроля и промежуточной аттестации. Текущий контроль в семестре проводится с целью обеспечения своевременной обратной связи, для коррекции обучения, активизации самостоятельной работы студентов. Контроль и оценка знаний студентов осуществляется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе контроля и оценки знаний студентов ГГНТУ. Программой дисциплины предусматривается проведение различных форм контроля: тематический контроль, определяющий степень усвоения каждого раздела; рубежные аттестации — рейтинговый контроль знаний, проводимый два раза в семестр; промежуточной формой контроля является экзамен.

I. Фонд оценочных средств для текущего контроля

Текущий контроль используется для оперативного и регулярного управления учебной деятельностью студентов. Текущий контроль успеваемости осуществляется в течение семестра и складывается из оценки за текущий контроль знаний за работу в семестре:

- посещение занятий;
- активность на лекционных и семинарских занятиях;
- самостоятельная работа;
- выполнение домашних заданий;
- подготовка докладов и сообщений;
- выполнение творческих заданий и презентаций;

1. Собеседование, устный опрос, беседа

Проверка знаний проводится путем проведения собеседования на практических занятиях по каждому разделу дисциплины. Цель коллоквиума — оценить глубину понимания теоретических основ математического моделирования робототехнических систем.

Вопросы для собеседования и коллоквиума

По разделу «Кинематика манипуляторов»: предмет и задачи кинематики, понятие системы координат, матрицы поворота и однородные преобразования, параметры Денавита-Хартенберга и порядок их определения, прямая задача кинематики и её роль в моделировании, рабочее пространство манипулятора и методы его анализа, классификация манипуляторов по кинематической структуре, понятие степени подвижности, пример построения кинематической схемы для манипулятора KUKA KR 5. Основные понятия для усвоения: матрица поворота, однородная матрица, параметры ДН, рабочее пространство, степени свободы, кинематическая цепь.

По разделу «Обратная задача кинематики»: постановка обратной задачи, аналитические методы решения для манипуляторов со сферическим запястьем, метод разделения переменных Пайпера, численные методы решения, метод Ньютона-Рафсона и его сходимость, градиентные методы и их особенности, проблема множественности решений и критерии выбора оптимальной конфигурации, понятие сингулярных положений и способы их обнаружения, сравнительный анализ аналитических и численных методов.

Основные понятия: обратная задача кинематики, метод Пайпера, градиентный спуск, сингулярность, конфигурация «локоть вверх/вниз».

По разделу «Динамика манипуляторов»: задачи динамического анализа, вывод уравнений Эйлера-Лагранжа и их физический смысл, матрица инерции и её свойства, центробежные и кориолисовы силы, гравитационные моменты, рекурсивный метод Ньютона-Эйлера и его вычислительная эффективность, сравнение методов Лагранжа и Ньютона-Эйлера, учёт трения в сочленениях, модели трения Кулона и Стрибека. Основные понятия: уравнения Лагранжа, матрица инерции, центробежные силы, рекурсивный метод, трение в сочленениях.

По разделу «Планирование траекторий»: задачи планирования движений, траектории в пространстве суставов, полиномы третьего и пятого порядка, LSPB-траектории и их параметры, траектории в декартовом пространстве, линейная интерполяция, кватернионы для описания ориентации, ограничения по скорости, ускорению и рывку, методы оптимизации траекторий по времени и энергопотреблению. Основные понятия: планирование траекторий, LSPB, кватернионы, ограничения, jerk.

По разделу «Моделирование в среде MATLAB/Simulink»: структура Robotic System Toolbox, создание объекта rigidBodyTree, функции прямой и обратной кинематики, интеграция с Simulink, Simscape Multibody и импорт CAD-моделей, настройка сочленений и материалов, проведение симуляции и визуализация результатов, верификация модели, сравнение с реальными экспериментальными данными. Основные понятия: rigidBodyTree, Robotic System Toolbox, Simscape Multibody, импорт CAD, верификация.

2. Оценочные средства для текущего контроля и аттестации студента

Образец теста для текущего контроля

Вариант 1.

1. Метод Денавита-Хартенберга используется для: а) решения дифференциальных уравнений, б) описания кинематики манипуляторов, в) расчёта электрических цепей, г) оптимизации траекторий.
2. Сколько параметров ДН требуется для описания каждого сочленения манипулятора: а) 2, б) 3, в) 4, г) 6.
3. Какая функция MATLAB используется для создания модели манипулятора в Robotic System Toolbox: а) robotics.RigidBodyTree, б) rigidBodyTree, в) createRobot, г) RobotModel.
4. Сингулярное положение манипулятора характеризуется: а) максимальной скоростью, б) потерей одной или нескольких степеней свободы, в) минимальным энергопотреблением, г) отсутствием трения.
5. LSPB-траектория состоит из: а) только линейных участков, б) линейных участков с параболическими переходами, в) только параболических участков, г) синусоидальных участков.

Вариант 2.

1. Прямая задача кинематики позволяет определить: а) углы суставов по положению схвата, б) положение схвата по углам суставов, в) динамические нагрузки, г) энергопотребление.
2. Метод Ньютона-Эйлера применяется для решения: а) прямой задачи кинематики, б) обратной задачи кинематики, в) задачи динамики, г) задачи планирования траекторий.

3. Для описания ориентации схвата в декартовом пространстве часто используются:
а) матрицы Якоби, б) кватернионы, в) комплексные числа, г) тригонометрические ряды.
4. Какой солвер MATLAB рекомендуется для моделирования жёстких систем дифференциальных уравнений: а) ode45, б) ode15s, в) ode23, г) ode113.
5. Simscape Multibody позволяет: а) только кинематическое моделирование, б) моделирование динамики с учётом физических свойств, в) оптимизацию траекторий, г) анализ электрических цепей.

3. Практические задания

Практические занятия проводятся в компьютерном классе. Задания выполняются индивидуально с последующей защитой. Ниже приведены типовые задания.

Задание по прямой задаче кинематики: для двухзвенного манипулятора с длинами звеньев L_1 и L_2 и заданными углами суставов q_1 и q_2 требуется аналитически рассчитать положение схвата, затем написать скрипт MATLAB, визуализирующий манипулятор и выводящий координаты конечной точки. Критерии оценки включают правильность аналитического расчёта, корректность кода, наличие визуализации и комментариев к программе.

Задание по численному решению обратной задачи кинематики: для двухзвенного манипулятора с заданными длинами звеньев требуется реализовать метод градиентного спуска для достижения целевой точки, построить график сходимости ошибки позиционирования и сравнить полученное решение с аналитическим. Оценивается корректность реализации метода, качество визуализации и глубина анализа полученных результатов.

Задание по планированию LSPB-траектории: для заданных начального и конечного углов сустава требуется построить LSPB-траекторию с заданными максимальной скоростью и временем, вывести графики положения, скорости и ускорения, проанализировать влияние параметров траектории на характер движения. Оценивается качество построения графиков, корректность расчётов и обоснованность выводов.

Задание по моделированию в Simscape Multibody: требуется импортировать CAD-модель манипулятора, настроить сочленения и материалы, провести симуляцию движения по заданной траектории и сравнить результаты с кинематической моделью из Robotic System Toolbox. Оценивается полнота выполнения, корректность настройки модели и качество анализа расхождений.

4. Критерии оценки практических заданий

Оценка отлично выставляется, если задание выполнено полностью, код оптимизирован, отчёт оформлен в соответствии с требованиями, даны правильные ответы на все контрольные вопросы. Оценка хорошо выставляется при полном выполнении задания, но наличии отдельных недочётов в оформлении кода или отчёта. Оценка удовлетворительно ставится при частичном выполнении задания при наличии ошибок в расчётах или коде. Оценка неудовлетворительно выставляется, если задание не выполнено или выполнено с грубыми ошибками, демонстрирующими отсутствие понимания материала.

II. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОМЕЖУТОЧНОГО КОНТРОЛЯ

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме экзамена. Экзамен состоит из двух частей: теоретического вопроса и практического задания на ПК. В ходе ответа магистрант должен продемонстрировать владение материалом лекций и учебной литературы, умение применять теоретические знания для решения практических задач моделирования, способность анализировать результаты моделирования и формулировать обоснованные выводы.

1. Вопросы к экзамену

3. Прямая задача кинематики и метод Денавита-Хартенберга, построение таблицы параметров для манипулятора с шестью степенями свободы.
4. Обратная задача кинематики, аналитические методы решения для манипуляторов со сферическим запястьем и численные методы, их сравнительный анализ.
5. Сингулярные положения манипуляторов, классификация и методы обнаружения и обхода.
6. Динамика манипуляторов, вывод уравнений Эйлера-Лагранжа с объяснением физического смысла каждого члена.
7. Рекурсивный метод Ньютона-Эйлера, его вычислительная эффективность.
8. Планирование траекторий в пространстве суставов, полиномы третьего и пятого порядка, LSPB-траектории.
9. Планирование траекторий в декартовом пространстве с использованием кватернионов. MATLAB Robotic System Toolbox, структура rigidBodyTree, функции прямой и обратной кинематики.
10. Моделирование в Simscape Multibody, импорт CAD-моделей и настройка сочленений.
11. Верификация математических моделей и сравнение с реальным экспериментом. Численное решение дифференциальных уравнений движения с использованием солверов MATLAB.
12. Метод возмущений для анализа нелинейных эффектов.
13. Модели трения в сочленениях и их влияние на точность позиционирования.
14. Калибровка кинематических параметров методом наименьших квадратов.
15. Сравнительный анализ сред моделирования для робототехнических систем.

2. Экзаменационные билеты

Образец билета к экзамену

Грозненский государственный нефтяной технический университет
им.акад. М.Д. Миллионщикова
Институт энергетики
Группа "АТПП-26м" Семестр "2"
Дисциплина " **Математическое моделирование и анализ нелинейных
робототехнических систем**"
Билет № 1

1. Прямая задача кинематики. Метод Денавита-Хартенберга. Построение таблицы параметров для манипулятора с 6 степенями свободы на примере KUKA KR 5.
 2. Практическое задание: в среде MATLAB/Simulink создайте модель манипулятора KUKA KR 5 в Robotic System Toolbox. Задайте траекторию движения схвата из точки А в точку Б с линейной интерполяцией в декартовом пространстве. Визуализируйте движение. Рассчитайте максимальную линейную скорость схвата.
- Подпись преподавателя _____ Подпись заведующего кафедрой _____
-

3. Критерии оценки экзамена

Оценка отлично выставляется студенту, обнаружившему полное знание учебно-программного материала, усвоившему основную литературу, давшему полный, логичный ответ на теоретический вопрос и правильно выполнившему практическое задание в MATLAB, при этом код должен быть рабочим, содержать комментарии, а результаты моделирования — корректно интерпретированы. Оценка хорошо ставится при полном теоретическом ответе с отдельными неточностями и практически верно выполненном задании с незначительными недочётами. Оценка удовлетворительно выставляется студенту, допустившему ошибки в теоретическом ответе или не полностью выполнившему практическое задание, но при этом демонстрирующему понимание основных принципов моделирования. Оценка неудовлетворительно выставляется студенту, обнаружившему пробелы в знаниях основного учебно-программного материала, допустившему принципиальные ошибки при ответе или не справившемуся с практическим заданием. Дополнительные и уточняющие вопросы преподавателя не приводят к корректировке ответа студента, либо ответы на вопросы отсутствуют.

III. КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

Курсовой проект является важнейшей формой самостоятельной работы в магистратуре и направлен на закрепление навыков математического моделирования на примере реальной робототехнической системы. Примерная тематика проектов включает разработку имитационной модели манипулятора KUKA KR 5 в среде Simscape Multibody с верификацией кинематических соотношений, сравнительный анализ аналитического и численного методов решения обратной задачи кинематики для шестизвенного манипулятора, исследование влияния сингулярностей на точность позиционирования и способов их обхода, оптимизацию траектории манипулятора по времени с учётом ограничений. Курсовой проект выполняется в последние четыре недели семестра и защищается в форме презентации на пять-семь минут с демонстрацией работы модели в MATLAB.

Критерии оценки курсового проекта включают глубину аналитического обзора, корректность модели, качество анализа результатов и оформление отчёта по ГОСТ. По каждому критерию проект оценивается от нуля до трёх баллов. По сумме баллов выставляется итоговая оценка: десять-одиннадцать баллов — отлично, семь-девять баллов — хорошо, пять-шесть баллов — удовлетворительно, ноль-четыре балла — неудовлетворительно.

ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ДИСЦИПЛИНЫ ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОГРАНИЧЕННЫМИ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ЗДОРОВЬЯ

Для осуществления процедур текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся созданы фонды оценочных средств, адаптированные для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья и позволяющие оценить достижение ими запланированных результатов обучения и уровень сформированности всех компетенций. Форма проведения текущей аттестации для студентов-инвалидов устанавливается с учётом индивидуальных психофизических особенностей. При тестировании для слабовидящих студентов используются фонды оценочных средств с укрупнённым шрифтом. На экзамен приглашается сопровождающий, который обеспечивает техническое сопровождение студенту. При необходимости студенту-инвалиду предоставляется дополнительное время для подготовки ответа на экзамене.

Обучающиеся с ограниченными возможностями здоровья и обучающиеся инвалиды обеспечиваются печатными и электронными образовательными ресурсами в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации. Для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по зрению: для слепых задания для

выполнения на практических занятиях оформляются рельефно-точечным шрифтом Брайля либо зачитываются ассистентом, письменные задания выполняются на бумаге рельефно-точечным шрифтом Брайля либо надиктовываются ассистенту; для слабовидящих обеспечивается индивидуальное равномерное освещение не менее 300 люкс, предоставляется увеличивающее устройство, задания оформляются увеличенным шрифтом. Для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по слуху обеспечивается наличие звукоусиливающей аппаратуры коллективного пользования, предоставляются услуги сурдопереводчика, для слепоглухих допускается присутствие ассистента, оказывающего услуги тифлосурдопереводчика. Для лиц с тяжелыми нарушениями речи, глухих, слабослышащих лекции и семинары, проводимые в устной форме, проводятся в письменной форме. Для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья, имеющих нарушения опорно-двигательного аппарата: письменные задания надиктовываются ассистенту, задания в письменной форме проводятся в устной форме путем опроса, беседы с обучающимся.

Критерии оценки:

- Оценку «зачтено» заслуживает студент, обнаруживший полное знание учебно-программного материала, усвоивший основную литературу, рекомендованную в программе, давший полный, логичный ответ на поставленные вопросы. При ответе могут быть допущены неточности или ошибки в раскрытии понятий, употреблении терминов, исправленные студентом с помощью преподавателя.
- Оценка «не зачтено» выставляется студенту, обнаружившему пробелы в знаниях основного учебно-программного материала, допустившему принципиальные ошибки при ответе. Дополнительные и уточняющие вопросы преподавателя не привели к корректировке ответа студента. Ответы на вопросы отсутствуют. Отказ от ответа.