

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



Рабочая программа дисциплины (модуля),
как компонент образовательной программы
высшего образования - программы магистратуры
по направлению подготовки
15.04.06 Мехатроника и робототехника,
утвержденной первым проректором РУТ (МИИТ)
Тимониным В.С.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Моделирование режимов работы роботов и робототехнических систем

Направление подготовки: 15.04.06 Мехатроника и робототехника

Направленность (профиль): Роботы и робототехнические системы

Форма обучения: Очная

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

Простая электронная подпись, выданная РУТ (МИИТ)
ID подписи: 610876
Подписал: заведующий кафедрой Григорьев Павел
Александрович
Дата: 01.06.2025

1. Общие сведения о дисциплине (модуле).

Целями освоения дисциплины (модуля) являются:

- формирование умения разрабатывать математические модели режимов работы роботов и робототехнических систем различной сложности;
- освоение методов анализа и верификации математических моделей для различных режимов функционирования робототехнических систем;
- развитие навыков использования вычислительных методов для исследования динамики и режимов работы робототехнических систем;
- приобретение компетенций в области компьютерного моделирования режимов эксплуатации с применением современных программных средств;
- овладение методами оптимизации параметров математических моделей для повышения эффективности работы роботов в различных режимах;
- формирование умения интерпретировать результаты моделирования и применять их для улучшения управления робототехническими системами;
- изучение методов формализации задач управления роботами с учетом различных режимов работы и современных алгоритмов;
- развитие способности адаптировать математические модели под конкретные инженерные задачи, включая анализ переходных и установившихся режимов.

Задачами дисциплины (модуля) являются:

- овладение знаниями о методах составления математических моделей режимов работы робототехнических систем;
- изучение принципов построения математических моделей для анализа различных режимов функционирования (штатных, аварийных, переходных);
- освоение методов формализации динамики роботов в разных режимах с использованием уравнений Лагранжа и Ньютона-Эйлера;
- изучение подходов к моделированию систем управления для различных режимов эксплуатации;
- приобретение навыков учета нелинейных эффектов (трение, люфты, упругость) при моделировании динамики роботов в разных режимах;
- освоение методов линеаризации и анализа устойчивости моделей для различных рабочих состояний;
- изучение методов параметрической идентификации моделей по экспериментальным данным с учетом режимных особенностей;
- формирование умения проводить верификацию моделей путем сопоставления с реальными системами в заданных режимах;

- освоение методов оптимизации параметров моделей для повышения точности моделирования рабочих режимов;
- изучение современных программных пакетов для моделирования режимов работы робототехнических систем;
- освоение методов численного интегрирования дифференциальных уравнений при анализе переходных процессов;
- приобретение навыков создания виртуальных прототипов в симуляторах с воспроизведением различных режимов;
- изучение методов обработки и визуализации результатов моделирования для анализа режимов работы;
- освоение технологий совместного моделирования разнородных систем с учетом их взаимодействия в разных режимах;
- изучение методов автоматизации процессов моделирования для многовариантного анализа режимов;
- освоение принципов интеграции моделей с реальными аппаратными компонентами для тестирования режимов в НПЛ-системах.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю).

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

ОПК-1 - Способен применять естественнонаучные и общетеchnические знания, методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности ;

ОПК-11 - Способен организовывать разработку и применение алгоритмов и современных цифровых программных методов 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-13 - Способен использовать основные положения, законы и методы естественных наук и математики при формировании моделей и методов исследования мехатронных и робототехнических систем;

ПК-1 - Способен составлять математические модели мехатронных и робототехнических систем, их подсистем, включая исполнительные, информационно-сенсорные и управляющие модули, с применением методов формальной логики, методов конечных автоматов, сетей Петри, методов

искусственного интеллекта, нечеткой логики, генетических алгоритмов, искусственных нейронных и нейро-нечетких сетей;

ПК-2 - Способен использовать имеющиеся программные пакеты и, при необходимости, разрабатывать новое программное обеспечение, необходимое для обработки информации и управления в мехатронных и робототехнических системах, а также для их проектирования;

ПК-3 - Способен разрабатывать экспериментальные макеты управляющих, информационных и исполнительных модулей мехатронных и робототехнических систем и проводить их исследование с применением современных информационных техно-логий;

ПК-5 - Способен разрабатывать методики проведения экспериментов и проводить эксперименты на действующих макетах и образцах мехатронных и робототехнических систем и их подсистем, обрабатывать результаты с применением современных информационных технологий и технических средств;

ПК-8 - Способен выполнять теоретические и экспериментальные исследования мехатронных и робототехнических систем с использованием современных информационно-измерительных устройств.

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

Знать:

- основы математического моделирования динамики многозвенных механизмов и мобильных роботов в различных режимах работы;
- методы формализации задач управления робототехническими системами с использованием конечных автоматов, сетей Петри и нейросетевых моделей применительно к разным режимам эксплуатации;
- принципы разработки алгоритмов управления робототехническими системами с учетом особенностей переходных и установившихся режимов;
- современные программные комплексы для моделирования режимов работы роботов и их функциональные возможности;
- методы численного решения систем дифференциальных уравнений, описывающих динамику роботов в различных режимах функционирования;
- основы верификации и валидации математических моделей для конкретных рабочих режимов;
- принципы работы сенсорных систем и методы обработки измерительной информации при анализе режимов работы;
- современные подходы к оптимизации параметров моделей для повышения эффективности в заданных режимах эксплуатации.

Уметь:

- составлять математические модели кинематики и динамики робототехнических систем с учетом различных режимов работы;
- разрабатывать алгоритмы управления на основе методов искусственного интеллекта для адаптации к изменяющимся режимам эксплуатации;
- использовать специализированное ПО для компьютерного моделирования режимов работы робототехнических систем;
- проводить параметрическую оптимизацию моделей для улучшения характеристик в заданных режимах;
- создавать виртуальные прототипы робототехнических систем с возможностью анализа различных режимов функционирования;
- анализировать устойчивость и работоспособность моделей в штатных и нештатных режимах;
- сопоставлять результаты моделирования режимов работы с экспериментальными данными;
- адаптировать готовые программные решения под конкретные задачи моделирования режимов эксплуатации.

Владеть:

- навыками построения математических моделей различной сложности для анализа режимов работы робототехнических систем;
- методами программирования в средах моделирования при исследовании различных режимов эксплуатации;
- технологиями компьютерного моделирования динамических систем с акцентом на анализ переходных процессов и установившихся режимов;
- навыками обработки и визуализации результатов моделирования режимов работы;
- методами разработки алгоритмов управления, адаптированных под различные режимы функционирования;
- способностью верификации моделей на экспериментальных стендах при различных режимах работы;
- практикой использования стандартных библиотек для робототехники при моделировании режимов эксплуатации;
- методами оптимизации параметров моделей для повышения эффективности в заданных режимах работы.

3. Объем дисциплины (модуля).

3.1. Общая трудоемкость дисциплины (модуля).

Общая трудоемкость дисциплины (модуля) составляет 9 з.е. (324 академических часа(ов)).

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

Тип учебных занятий	Количество часов		
	Всего	Семестр	
		№2	№3
Контактная работа при проведении учебных занятий (всего):	96	48	48
В том числе:			
Занятия лекционного типа	32	16	16
Занятия семинарского типа	64	32	32

3.3. Объем дисциплины (модуля) в форме самостоятельной работы обучающихся, а также в форме контактной работы обучающихся с педагогическими работниками и (или) лицами, привлекаемыми к реализации образовательной программы на иных условиях, при проведении промежуточной аттестации составляет 228 академических часа (ов).

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

4. Содержание дисциплины (модуля).

4.1. Занятия лекционного типа.

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
1	Эксплуатация промышленных роботов. Рассматриваемые вопросы: - Основные понятия об эксплуатации промышленных роботов; - Учет условий эксплуатации промышленных роботов при проектировании роботизированных комплексов.
2	Техническое обслуживание промышленных роботов. Рассматриваемые вопросы: - Система технического обслуживания и ремонта промышленных роботов;

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
	<ul style="list-style-type: none"> - Виды и объемы работ при проведении технического обслуживания промышленных роботов; - Виды и объемы работ при проведении ремонтов промышленных роботов.
3	<p>Моделирование роботизированных комплексов.</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Общие сведения о моделировании наземных транспортно-технологических машин на примере роботизированных комплексов; - Методы моделирования наземных транспортно-технологических машин на примере роботизированных комплексов.
4	<p>Программирование промышленных роботов на языке KRL.</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Введение в языки программирования промышленных роботов; - Программирование промышленных роботов.
5	<p>Программирование ПЛК верхнего уровня.</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Введение в теорию о программируемых контроллерах; - Программирование контроллеров; - Применение контроллеров для управления промышленным роботом.
6	<p>Связь ПЛК и системы управления KRC4.</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Введение в систему управления KRC4; - Взаимодействие ПЛК и KRC4.
7	<p>Проектирование роботизированных комплексов.</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Создание симуляции роботизированного комплекса; - Разработка оснастки для роботизированного комплекса.
8	<p>Моделирование комплексного проекта по роботизации.</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Создание комплексного проекта по роботизации; - Подбор оборудования; - Проектирование оснастки; - Разработка схем и чертежей.
9	<p>Кинематика промышленных роботов.</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Основные понятия кинематике промышленных роботов; - Расчет кинематики промышленных роботов.
10	<p>Динамика промышленных роботов.</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Расчет динамики промышленных роботов; - Моделирование систем промышленных роботов с учетом динамики.
11	<p>Планирование траекторий.</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Общие сведения планировании траектории; - Методы планирования траекторий.
12	<p>Моделирование роботов с помощью фреймворков.</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Введение в языки программирования промышленных роботов; - Программирование промышленных роботов.
13	<p>Программирование ПЛК верхнего уровня.</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p>

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
	- Введение в теорию о программируемых контроллерах; - Программирование контроллеров; - Применение контроллеров для управления промышленным роботом.
14	Связь ПЛК и системы управления KRC4. Рассматриваемые вопросы: - Введение в систему управления KRC4; - Взаимодействие ПЛК и KRC4.
15	Проектирование роботизированных комплексов. Рассматриваемые вопросы: - Создание симуляции роботизированного комплекса; - Разработка оснастки для роботизированного комплекса.
16	Моделирование комплексного проекта по роботизации. Рассматриваемые вопросы: - Создание комплексного проекта по роботизации; - Подбор оборудования; - Проектирование оснастки; - Разработка схем и чертежей.

4.2. Занятия семинарского типа.

Лабораторные работы

№ п/п	Наименование лабораторных работ / краткое содержание
1	Введение в разработку 3D-моделей. В результате выполнения лабораторной работы приобретаются навыки разработки 3D-моделей.
2	Технические требования к чертежам. В результате выполнения лабораторной работы приобретаются навыки в оформлении чертежей по ЕСКД.
3	Основные принципы построения примитивов. В результате выполнения лабораторной работы приобретаются навыки в основах построения базовых элементов.
4	Операция выдавливания. Вырезать выдавливанием. Операция вращения. Вырезать вращением. В результате выполнения лабораторной работы приобретаются навыки при использовании основных инструментов моделирования.
5	Элемент по траектории. Вырезать по траектории. Элемент по сечениям. В результате выполнения лабораторной работы приобретаются навыки при использовании основных инструментов моделирования.
6	Массивы. В результате выполнения лабораторной работы приобретаются навыки при использовании массивов для упрощения моделирования.
7	Сборка. В результате выполнения лабораторной работы приобретаются навыки в создании сборок.
8	Формирование чертежа. В результате выполнения лабораторной работы приобретаются навыки в создании чертежей.
9	Сборка сложных узлов роботов. В результате выполнения лабораторной работы приобретаются навыки в сборке сложных узлов.

№ п/п	Наименование лабораторных работ / краткое содержание
10	Проектирование звена робота. В результате выполнения лабораторной работы приобретаются навыки в проектировании звена робота.
11	Расчет звена робота. В результате выполнения лабораторной работы приобретаются навыки в проведении прочностного расчета звена робота.
12	Сборка звеньев робота с анимацией. В результате выполнения лабораторной работы приобретаются навыки в создании анимации сборок.
13	Подготовка модели для импорта в среду моделирования, работающей под ROS. В результате выполнения лабораторной работы приобретаются навыки в создании настроек для импорта модели.
14	Разработка сцены роботизированной ячейки. В результате выполнения лабораторной работы приобретаются навыки в размещении элементов роботизированной ячейки для исключения коллизий.
15	Написание программы для робота в роботизированной ячейки. В результате выполнения лабораторной работы приобретаются навыки в генерации программы и редактировании.
16	Отладка программы для робота в роботизированной ячейки. В результате выполнения лабораторной работы приобретаются навыки в отладке программы.

Практические занятия

№ п/п	Тематика практических занятий/краткое содержание
1	Программирование на KFD/KRL. Программирование движений рабочего органа. В результате выполнения практического задания рассматриваются команды для создания траекторий перемещения рабочего органа промышленного робота.
2	Программирование на KFD/KRL. Условный оператор и оператор множественного выбора. В результате выполнения практического задания рассматриваются команды для создания программ с элементами выбора управляющих воздействий на основе определенных условий.
3	Программирование на KFD/KRL. Циклы и ожидания. В результате выполнения практического задания рассматриваются команды для формирования циклов и задержки времени для формирования повторяющихся действий.
4	Программирование на KFD/KRL. Входы и выходы системы управления KRC4. В результате выполнения практического задания рассматриваются команды для управления выходными сигналами, управляющими нагрузкой (распределитель, частотный преобразователь), на основе состояний входных сигналов от датчиков и кнопок.
5	Программирование на KFD/KRL. Подпрограммы, функции и прерывания. В результате выполнения практического задания рассматриваются команды для создания функций и прерываний, необходимые для организации сложных программ на основе деления ее на отдельные блоки кода.
6	Программирование на KFD/KRL. Сообщения, таймеры, флаги. В результате выполнения практического задания рассматриваются команды для формирования сообщений обратной связи, флагов - для хранения и изменения состояний логических сигналов, таймеров - для создания генераторов импульсов.
7	Программирование ПЛК. Реверсивный счетчик и детектор фронтов. В результате выполнения практического задания рассматриваются принцип работы и практическое применение реверсивного счетчика и детектора фронтов при программировании ПЛК.

№ п/п	Тематика практических занятий/краткое содержание
8	Программирование ПЛК. Генератор периодических импульсов. В результате выполнения практического задания рассматриваются принцип работы и практическое применение генератора периодических импульсов при программировании ПЛК.
9	Программирование ПЛК. Сравнение ST, CFC, FBD. В результате выполнения практического задания рассматривается сравнение языков программирования ST, CFC, FBD на примере написания программы для реализации автоматического управления.
10	Программирование ПЛК. Программное управление конвейерной системой на основе структуры приложения. В результате выполнения практического задания рассматривается концепция структуры приложения при написании программы для реализации автоматического управления конвейерной системой.
11	Программирование ПЛК. Визуализация программы. В результате выполнения практического задания рассматривается способ отладки программ на основе использования визуализации с учетом привязки графических элементов мнемосхемы к переменным программы.
12	Программирование ПЛК. ПИД-регулятор. В результате выполнения практического задания рассматриваются принцип работы и практическое применение ПИД-регулятора при программировании ПЛК.
13	Проектирование электрических схем роботизированных комплексов. В результате выполнения практического задания рассматриваются принцип разработки электрических схем цепи безопасности роботизированных комплексов.
14	Проектирование печатной платы электронного устройства роботизированного комплекса. В результате выполнения практического задания рассматриваются принцип разработки печатной платы электронного устройства для работы в составе роботизированного комплекса.
15	Проектирование пневматических схем роботизированных комплексов. В результате выполнения практического задания рассматриваются принцип разработки пневматических схем для управления захватными устройствами промышленных роботов.
16	Программирование ПЛК. Программное управление конвейерной системой на основе структуры приложения. В результате выполнения практического задания рассматривается концепция структуры приложения при написании программы для реализации автоматического управления конвейерной системой.

4.3. Самостоятельная работа обучающихся.

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

4.4. Примерный перечень тем курсовых проектов

Вариант 1 «Разработка программного управления станка для резки панелей»

Вариант 2 «Разработка программного управления порталного робота»

Вариант 3 «Разработка программного управления конвейерной линией»

Вариант 4 «Разработка программного управления технологическим процессом»

Вариант 5 «Разработка программного управления следящей системы»

Вариант 6 «Разработка программного управления насосами»

Вариант 7 «Разработка программного управления установкой для получения жидкости»

Вариант 8 «Разработка программного управления бетономешалкой»

Вариант 9 «Разработка программного управления подъемником»

Вариант 10 «Разработка программного управления роботизированной тележки с бункером»

Вариант 11 «Разработка программного управления экскаватором-драглайном»

Вариант 12 «Разработка программного управления гидравлическим одноковшовым экскаватором»

Вариант 13 «Разработка программного управления эскалатора»

Вариант 14 «Разработка программного управления мостового крана»

Вариант 15 «Разработка программного управления вилочного электропогрузчика»

Вариант 16 «Разработка программного управления рольгангом»

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

№ п/п	Библиографическое описание	Место доступа
1	Маликов, Р. Ф. Основы математического моделирования : учебное пособие / Р. Ф. Маликов. — Москва : Горячая линия-Телеком, 2010. — 368 с. — ISBN 978-5-9912-0123-0.	URL: https://e.lanbook.com/book/5169 (дата обращения: 21.04.2023). - Текст: электронный.
2	Крыжановский, Г. А. Моделирование транспортных процессов : учебное пособие / Г. А. Крыжановский. — Санкт-Петербург : СПбГУ ГА, 2014. — 262 с.	URL: https://e.lanbook.com/book/145484 (дата обращения: 12.04.2023). - Текст: электронный.
3	Петров, А. В. Моделирование процессов и систем : учебное пособие / А. В. Петров. — Санкт-	URL: https://e.lanbook.com/book/212213

Петербург : Лань, 2022. — 288 с. — ISBN 978-5-8114-1886-2.	(дата обращения: 12.04.2023). - Текст: электронный.
--	--

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

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

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

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

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

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

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

Microsoft Internet Explorer (или другой браузер).

Операционная система Microsoft Windows.

Microsoft Office.

Microsoft Project.

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

1. Рабочее место преподавателя с персональным компьютером, подключённым к сетям INTERNET.

2. Программное обеспечение для создания текстовых и графических документов, презентаций.

3. Специализированная лекционная аудитория с мультимедиа аппаратурой.

9. Форма промежуточной аттестации:

Зачет во 2 семестре.

Курсовой проект в 3 семестре.

Экзамен в 3 семестре.

10. Оценочные материалы.

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

Авторы:

доцент, доцент, к.н. кафедры
«Наземные транспортно-
технологические средства»

А.В. Мишин

доцент, доцент, к.н. кафедры
«Наземные транспортно-
технологические средства»

А.Н. Неклюдов

Согласовано:

Заведующий кафедрой НТТС

П.А. Григорьев

Председатель учебно-методической
комиссии

С.В. Володин