

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)

**Математическое и компьютерное моделирование 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).

Цели освоения дисциплины (модуля) являются:

- формирование умения разрабатывать математические модели робототехнических систем различной сложности;
- освоение методов анализа и верификации математических моделей робототехнических систем;
- развитие навыков использования вычислительных методов для исследования динамики робототехнических систем;
- приобретение компетенций в области компьютерного моделирования с применением современных программных средств;
- овладение методами оптимизации параметров математических моделей;
- формирование умения интерпретировать результаты моделирования и применять их на практике;
- изучение методов формализации задач управления робототехническими системами с использованием современных алгоритмов;
- развитие способности адаптировать математические модели под конкретные инженерные задачи.

Задачами дисциплины (модуля) являются:

- овладение знаниями о методах составления математических моделей робототехнических систем;
- изучение основных принципов построения математических моделей механических систем;
- освоение методов формализации динамики роботов с использованием уравнений Лагранжа и Ньютона-Эйлера;
- изучение подходов к моделированию систем управления;
- приобретение навыков учета нелинейных эффектов (трение, люфты, упругость) в математических моделях;
- освоение методов линеаризации и анализа устойчивости моделей;
- изучение методов параметрической идентификации моделей по экспериментальным данным;
- формирование умения проводить верификацию моделей путем сопоставления с реальными системами;
- освоение методов оптимизации параметров моделей для повышения точности;
- изучение современных программных пакетов для моделирования;
- освоение методов численного интегрирования дифференциальных уравнений;

- приобретение навыков создания виртуальных прототипов в симуляторах;
- изучение методов обработки и визуализации результатов моделирования;
- освоение технологий совместного моделирования разнородных систем;
- изучение методов автоматизации процессов моделирования;
- освоение принципов интеграции моделей с реальными аппаратными компонентами.

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 общеинженерные 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 многосвязных механизмов и мобильных роботов;
- методы формализации задач управления с использованием конечных автоматов, сетей Петри и нейросетевых моделей;
- принципы разработки алгоритмов управления робототехническими системами с использованием современных цифровых технологий;
- современные программные комплексы для моделирования и их функциональные возможности;
- методы численного решения систем дифференциальных уравнений, описывающих динамику роботов;
- основы верификации и валидации математических моделей;
- принципы работы сенсорных систем и методы обработки измерительной информации;
- современные подходы к оптимизации параметров моделей.

Уметь:

- составлять математические модели кинематики и динамики робототехнических систем;
- разрабатывать алгоритмы управления на основе методов искусственного интеллекта;
- использовать специализированное ПО для компьютерного моделирования;
- проводить параметрическую оптимизацию моделей;

- создавать виртуальные прототипы робототехнических систем;
- анализировать устойчивость и работоспособность моделей;
- сопоставлять результаты моделирования с экспериментальными данными;
- адаптировать готовые программные решения под конкретные задачи.

Владеть:

- навыками построения математических моделей различной сложности;
- методами программирования в средах моделирования;
- технологиями компьютерного моделирования динамических систем;
- навыками обработки и визуализации результатов моделирования;
- методами разработки алгоритмов управления;
- способностью верификации моделей на экспериментальных стендах;
- практикой использования стандартных библиотек для робототехники;
- методами оптимизации параметров моделей.

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	<p>Общие положения моделирования.</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - моделирование как метод научного познания; - основные понятия и определения; - область применения математических моделей; - роль и место моделирования в проектировании РТС.
2	<p>Адекватность и эффективность моделей. Классификация моделей.</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - адекватность модели; - процесс построения модели; - теория подобия; - факторы, влияющие на адекватность модели; - классификация моделей.
3	<p>Основные этапы математического моделирования.</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - основные понятия математического моделирования; - классификация математических моделей; - использование прикладных программ для создания моделей; - этапы математического моделирования.
4	<p>Разновидности задач моделирования. Методы математического программирования.</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - прямые и обратные задачи моделирования и примеры; - детерминированные и стохастические задачи и примеры этих задач; - линейные и нелинейные задачи; - классификация методов математического программирования.
5	<p>Линейное программирование.</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - основные понятия линейного программирования; - примеры решения задач линейного программирования.
6	<p>Нелинейное программирование.</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - виды нелинейных моделей; - математическое описание нелинейных моделей; - примеры решения задач нелинейного программирования для РТС.

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
7	<p>Математические модели в виде дифференциальных уравнений.</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - математическое описание модели в виде дифференциальных уравнений; - способы исследования модели в виде дифференциальных уравнений; - пример решения для одномассовой механической системы; - модели, заданные в виде уравнений в частных производных.
8	<p>Стохастические модели.</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - основные понятия теории вероятностей; - примеры стохастических моделей; - обработка опытных данных.
9	<p>Искусственный интеллект и его использование в РТС.</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - история возникновения и развития искусственного интеллекта; - системы технического зрения; - распознавание и анализ изображений; - искусственные нейронные сети.
10	<p>Основные задачи динамики механических систем и способы их решения.</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - общие сведения о динамике механических систем (МС); - классификация МС; - основные задачи динамики МС; - способы решения основных задач динамики МС.
11	<p>Построение расчетных схем механических систем и общие принципы их расчета.</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - обозначения на эквивалентных схемах МС; - основные законы динамики; - классификация сил; - принцип Даламбера; - уравнения Лагранжа.
12	<p>Приведенные массы, моменты инерции, силы и моменты сил МС.</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - правила нахождения приведенных сил и моментов сил; - правила нахождения приведенных масс и моментов инерции; - приведение жесткостей; - приведенные массы, моменты инерции, силы и моменты сил МС, приведенные жесткости на примере механической системы качания руки робота.
13	<p>Уравнения движения жёстких механических систем.</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - уравнения движения для ненагруженных механизмов; - составление уравнений движения при нагружении механизмов; - примеры составления уравнений движения для электрических приводов роботов.
14	<p>Динамические процессы ненагруженных механизмов, при нагружении и после разгона.</p> <p>Рассматриваемые вопросы:</p> <ul style="list-style-type: none"> - уравнения движения для ненагруженных механизмов; - составление уравнений движения при нагружении механизмов; - примеры составления уравнений движения для электрических приводов роботов.
15	<p>Основы расчета динамики робототехнических систем с присоединенной массой и с гибкими звеньями.</p>

№ п/п	Тематика лекционных занятий / краткое содержание
	Рассматриваемые вопросы: - особенности динамики машин с гибкими звеньями. - пример составления уравнений движения для конвейера.
16	Динамические расчеты МС с гидравлическими, пневматическими и электрическими связями. Рассматриваемые вопросы: - особенности составления уравнений динамики для механических систем с гидравлическими связями; - особенности составления уравнений динамики для механических систем с пневматическими связями; - особенности составления уравнений динамики для механических систем с электрическими связями.

4.2. Занятия семинарского типа.

Лабораторные работы

№ п/п	Наименование лабораторных работ / краткое содержание
1	В результате выполнения лабораторной работы В результате выполнения лабораторной работы рассматриваются различные методы решения задач с помощью Python.
2	Описание системы дифференциальных уравнений в Python. В результате выполнения лабораторной работы рассматриваются правила составления программы для решения дифференциальных уравнений.
3	Моделирование процессов в одномассовой системе. В результате выполнения лабораторной работы строится математическая модель для одномассовой механической системы и исследуется с помощью Python.
4	Математическое моделирование процессов в двухмассовой механической системе. В результате выполнения лабораторной работы строится модель двухмассовой МС и исследуется с помощью Python.
5	Составление уравнений динамики для механической системы. В результате выполнения лабораторной работы составляется модель для заданной преподавателем МС и исследуется в Python.
6	Математическое моделирование процессов в механической системе. В результате выполнения лабораторной работы движение МС моделируется и исследуется в Python.
7	Моделирование работы МС с гидравлическими связями. В результате выполнения лабораторной работы моделируется работа гидравлического привода.
8	Моделирование работы МС с электрическими связями. В результате выполнения лабораторной работы моделируется работа электрического привода постоянного и переменного тока.
9	Этапы математического моделирования на примере моделирования движения звена манипулятора. В результате выполнения лабораторной работы студенты составляют математическую модель.
10	Точные и численные методы решения математических задач и их использование при моделировании. В результате выполнения лабораторной работы рассматриваются различные методы решения задач с помощью Python.

№ п/п	Наименование лабораторных работ / краткое содержание
11	Прямые и обратные задачи моделирования. В результате выполнения лабораторной работы рассматриваются решения прямых и обратных задач моделирования.
12	Составление математической модели с применением фундаментальных законов. В результате выполнения лабораторной работы рассматривается составление математических моделей с применением законов сохранения энергии, материи, импульса.
13	Составление математической модели с применением вариационных принципов. Составление математической модели с применением вариационных принципов.
14	Составление математической модели с применением аналогий. В результате выполнения лабораторной работы рассматривается составление математических моделей с применением аналогий.
15	Математическое моделирование физических процессов. В результате выполнения лабораторной работы рассматриваются математические модели различных по приводу физических процессов.

Практические занятия

№ п/п	Тематика практических занятий/краткое содержание
1	Линейное программирование. В результате выполнения практического занятия студенты решают линейную задачу оптимизации с помощью Python.
2	Нелинейное программирование. В результате выполнения практического занятия рассматривается решение задачи нелинейного программирования в Python.
3	Модель в виде обыкновенных дифференциальных уравнений. В результате выполнения практического занятия рассматривается составление уравнений динамики для механической системы и аналитические способы решения этих уравнений.
4	В результате выполнения практического занятия рассматривается составление уравнений динамики для механической системы и аналитические способы решения этих уравнений. В результате выполнения практического занятия рассматривается модели в частных производных на примере теплопередачи.
5	Вероятностные модели. Статистические характеристики. В результате выполнения практического занятия студенты находят статистические характеристики вероятностной модели.
6	Аппроксимация функций. В результате выполнения практического занятия для набора данных находят аппроксимирующие функции различных видов.
7	Универсальность математических моделей. В результате выполнения практического занятия студенты рассматривают процессы колебаний в объектах различной природы и убеждаются в том, что несмотря на разную сущность объектов, им соответствуют изоморфные математические модели.
8	Искусственные нейронные сети. В результате выполнения практического занятия рассматриваются способы построения нейронных сетей.
9	Современные способы исследования математических моделей в виде дифференциальных уравнений.

№ п/п	Тематика практических занятий/краткое содержание
	В результате выполнения практического занятия студенты знакомятся с современными программными продуктами, которые позволяют решать дифференциальные уравнения.
10	Составление программы вычисления функции в Python. В результате выполнения практического занятия студенты составляют программу в среде Python.
11	Составление программы построения графиков в различных системах координат. В результате выполнения практического занятия студенты составляют программу для построения различных типов графиков.
12	Описание системы дифференциальных уравнений в виде матрицы в Python. В результате выполнения практического занятия рассматриваются правила составления программы для решения дифференциальных уравнений.
13	Применение иерархического подхода к составлению модели механической системы РТС. В результате выполнения практического занятия студенты составляют для механической системы одномассовую и двухмассовую модели.
14	Решение системы дифференциальных уравнений. В результате выполнения практического занятия составляется математическая модель для одномассовой механической системы и исследуется в Python.
15	Математическое моделирование процессов в двухмассовой механической системе. В результате выполнения практического занятия составляется модель для двухмассовой МС и исследуется в Python.
16	Математическое моделирование процессов в механической системе. В результате выполнения практического занятия составляется модель для заданной преподавателем МС и исследуется в Python.

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 портального робота»

Вариант 3 «Разработка программного управления конвейером и роботом»

Вариант 4 «Разработка программного управления роботизированной ячейки по ремонту элементов подвижного состава»

Вариант 5 « Разработка программного управления роботизированной ячейки по ремонту элементов железнодорожного пути»

Вариант 6 «Разработка программного управления роботизированной ячейки по изготовлению элементов подвижного состава»

Вариант 7 «Разработка программного управления роботизированной ячейки для сварочных операций»

Вариант 8 «Разработка программного управления роботизированной ячейки для покрасочных операций»

Вариант 9 «Разработка программного управления роботизированной ячейки герметизирующих операций»

Вариант 10 « Разработка программного управления роботизированной ячейки по ремонту элементов железнодорожного пути»

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-Петербург : Лань, 2022. — 288 с. — ISBN 978-5-8114-1886-2.	URL: https://e.lanbook.com/book/212213 (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