

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 - программа 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: 6216
Подписал: заведующий кафедрой Неклюдов Алексей
Николаевич
Дата: 01.06.2024

1. Общие сведения о дисциплине (модуле).

Целями освоения дисциплины (модуля) являются:

- формирование умения находить адекватную замену процесса в РТС соответствующей математической моделью;

- исследование математических моделей РТС методами вычислительной математики с привлечением средств современной вычислительной техники.

Задачами дисциплины (модуля) являются:

- овладение знаниями о методах составления математических моделей РТС;

- овладение знаниями об исследовании математических моделей на ЭВМ с помощью прикладных программ.

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:

знать основные принципы и методы математического моделирования динамики робототехнических систем;

знать математический аппарат для описания кинематики и динамики многозвенных механизмов;

знать методы численного решения дифференциальных уравнений движения роботов;

знать принципы построения компьютерных моделей робототехнических систем;

знать современное программное обеспечение для моделирования роботов;

знать методы параметрической идентификации моделей робототехнических систем;

знать принципы верификации и валидации компьютерных моделей;

знать методы оптимизации параметров робототехнических систем на основе моделей.

Уметь:

уметь составлять математические модели кинематики и динамики робототехнических систем;

уметь разрабатывать компьютерные модели роботов в специализированных программных средах;

уметь проводить параметрическую идентификацию моделей по экспериментальным данным;

уметь выполнять численное моделирование динамики робототехнических систем;

уметь анализировать результаты моделирования и делать выводы о поведении системы;

уметь оптимизировать параметры робототехнических систем на основе моделей;

уметь проводить верификацию и валидацию компьютерных моделей;

уметь выбрать адекватные методы моделирования для различных классов робототехнических систем.

Владеть:

владеть математическим аппаратом для моделирования кинематики и динамики роботов;

владеть навыками работы с программными комплексами моделирования робототехнических систем;

владеть методами численного интегрирования уравнений движения;

владеть методиками параметрической идентификации математических моделей;

владеть технологиями верификации и валидации компьютерных моделей;

владеть методами анализа и интерпретации результатов моделирования;

владеть навыками оптимизации параметров робототехнических систем на основе моделей;

владеть современными подходами к созданию цифровых двойников робототехнических систем.

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 | Общие положения моделирования. Рассматриваемые вопросы: - моделирование как метод научного познания; - основные понятия и определения; - область применения математических моделей; - роль и место моделирования в проектировании РТС. |
| 2 | Адекватность и эффективность моделей. Классификация моделей. Рассматриваемые вопросы: - адекватность модели; - процесс построения модели; - теория подобия; - факторы, влияющие на адекватность модели; - классификация моделей. |
| 3 | Основные этапы математического моделирования. Рассматриваемые вопросы: - основные понятия математического моделирования; - классификация математических моделей; - использование прикладных программ для создания моделей; - этапы математического моделирования. |

| № п/п | Тематика лекционных занятий / краткое содержание |
|----------|--|
| 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. |
| 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; |

| № п/п | Тематика лекционных занятий / краткое содержание |
|----------|--|
| | - приведенные массы, моменты инерции, силы и моменты сил МС, приведенные жесткости на примере механической системы качания руки робота. |
| 13 | Уравнения движения жёстких механических систем. Рассматриваемые вопросы: - уравнения движения для ненагруженных механизмов; - составление уравнений движения при нагружении механизмов; - примеры составления уравнений движения для электрических приводов роботов. |
| 14 | Динамические процессы ненагруженных механизмов, при нагружении и после разгона. Рассматриваемые вопросы: - уравнения движения для ненагруженных механизмов; - составление уравнений движения при нагружении механизмов; - примеры составления уравнений движения для электрических приводов роботов. |
| 15 | Основы расчета динамики робототехнических систем с присоединенной массой и с гибкими звеньями. 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. |

| № п/п | Наименование лабораторных работ / краткое содержание |
|-------|---|
| 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. |
| 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. |

| № п/п | Тематика практических занятий/краткое содержание |
|-------|--|
| 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. 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 ibooks.ru (<http://ibooks.ru/>).

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

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

А.Н. Неклюдов

Согласовано:

Заведующий кафедрой НТТС

А.Н. Неклюдов

Председатель учебно-методической
комиссии

С.В. Володин