

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Физико-технический факультет



УТВЕРЖДАЮ:

Декан

Ю.Н. РЫЖИХ

« 27 »

06

20 23

г.

Рабочая программа дисциплины

**Моделирование роботов и робототехнических систем**

по направлению подготовки

**15.04.06 Мехатроника и робототехника**

Направленность (профиль) подготовки :

**Моделирование робототехнических систем**

Форма обучения

**Очная**

Квалификация

**Магистр**

Год приема

**2023**

Код дисциплины в учебном плане: Б1.В.01

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОПОП

Г.Р. Шрагер

Председатель УМК

В.А. Скрипняк

Томск – 2023

## **1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины**

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

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

ОПК-13 Способен использовать основные положения, законы и методы естественных наук и математики при формировании моделей и методов исследования мехатронных и робототехнических систем.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК 1.1 Знать теорию и основные законы в области естественнонаучных и инженерных дисциплин.

ИОПК 1.2 Уметь применять методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности

ИОПК 1.3 Уметь применять методы теоретического и экспериментального исследования в профессиональной деятельности

ИОПК 13.1 Знать основные положения, законы и методы естественных наук и математики при формировании моделей и методов исследования мехатронных и робототехнических систем

ИОПК 13.2 Уметь развивать полученные знания и применять их для решения нестандартных задач.

ИОПК 13.3 Владеть способами адаптации к работе в новой среде.

## **2. Задачи освоения дисциплины**

– Изучить кинематические характеристики механизмов роботов.

– На примерах роботов-манипуляторов, роботов параллельной структуры и колесных мобильных роботов освоить методы расчета кинематических характеристик.

– Изучить алгоритмы генерации траектории энд-эффектором робота-манипулятора, а также алгоритмы планирования движений мобильными роботами.

– В программных комплексах – симуляторах роботов научиться использовать виртуальные модели роботов и реализовывать в них алгоритмы решения прямых и обратных кинематических задач, генерации траектории рабочего органа манипулятора, планирования движения мобильных роботов.

– Научиться налаживать и запускать в работу физические модели колесного мобильного и шагающего роботов, переносить в них созданные в виртуальной среде управляющие программы.

## **3. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина относится к Блоку 1 «Дисциплина (модули)».

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, является обязательной для изучения.

## **4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине**

Первый семестр, экзамен

## **5. Входные требования для освоения дисциплины**

Для успешного освоения дисциплины требуются компетенции, сформированные в ходе освоения образовательных программ предшествующего уровня образования.

## **6. Язык реализации**

Русский

## **7. Объем дисциплины**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 з.е., 216 часов, из которых:

-лекции: 32 ч.

-практические занятия: 32 ч.

в том числе практическая подготовка: 32 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

## **8. Содержание дисциплины, структурированное по темам**

Тема 1. Основные сведения о роботах.

Что такое робот. Классификация роботов. Что такое робототехника. История развития робототехники. Подсистемы робота. Понятия число степеней свободы, кинематическая пара, виды систем координат, рабочая зона. Способы и языки программирования роботов. Области применения роботов. Коллаборативная робототехника. Социальные последствия использования роботов.

Тема 2. Мехатроника и робототехника.

Термин мехатроника. Робототехнические мехатронные устройства. Мехатронные модули и мехатронные системы. Состав и признаки мехатронного устройства. Примеры мехатронных систем. Исполнительные механизмы, сенсоры и микроэлектромеханические системы в мехатронике. Современные направления исследований в области мехатроники и робототехники. Аппаратные и программные комплексы для исследования и моделирования роботов.

Тема 3. Пространство конфигураций робота.

Определения. Степени свободы твердого тела. Степени свободы робота. Кинематические пары роботов. Формула Грублера. Примеры. Топология пространства конфигурации. Представление пространства конфигурации. Ограничения конфигурации и скорости. Пространство задач и рабочая область. Примеры.

Тема 4. Движения твердого тела.

Определения. Движение твердого тела в плоскости. Матрицы вращения. Угловые скорости. Экспоненциальное представление координат вращения, примеры. Однородные матрицы преобразования, примеры. Сведение перемещения твердого тела к винтовому, примеры. Экспоненциальное представление координат движения твердого тела, примеры.

Тема 5. Прямая задача кинематики робота.

Определения. Метод произведения экспонент (РОЕ). Формулировка РОЕ-метода в системе координат основания, примеры. Формулировка РОЕ-метода в системе координат энд-эффектора, примеры. Метод параметризации Денавита-Хартенберга, примеры. Универсальный формат описания робота (URDF).

Тема 6. Кинематика скорости и статика.

Определения. Якобиан пространства (в фиксированной системе координат), пример. Якобиан тела (в системе координат энд-эффектора), пример. Связь между якобианом пространства и якобианом тела. Альтернативные формы записи якобиана манипулятора. Первый взгляд на решение обратной задачи кинематики скорости. Статика открытых кинематических цепей. Анализ кинематических сингулярностей с помощью матрицы Якоби, примеры. Построение эллипсоидов манипулируемости и сил с помощью матрицы Якоби, пример.

Тема 7. Обратная задача кинематики (ОЗК) робота.

Определения. Аналитическое решение ОЗК для роботов-манипуляторов типа PUMA и Stanford arm. Численное решение ОЗК. Метод Ньютона-Рафсона, этапы

вычислительного алгоритма, пример. Подходы к решению обратной задачи кинематики скорости.

Тема 8. Роботы параллельной структуры.

Определения. Прямая и обратная кинематика плоского параллельного 3xRPR механизма. Прямая и обратная кинематика пространственного 3xSPS механизма (платформа Стюарта-Гофа). Кинематика произвольного механизма параллельной структуры. Дифференциальная кинематика механизмов параллельной структуры, пример (платформа Стюарта-Гофа). Дифференциальная кинематика произвольного механизма параллельной структуры. Виды сингулярностей механизмов параллельной структуры.

Тема 9. Генерация траектории движения рабочего органа.

Определения. Способы построения траекторий «от точки к точке». Способы построения траекторий с промежуточными точками. Алгоритм определения оптимального времени движения по траектории с учетом ограничений, наложенных на привод робота.

Тема 10. Методы планирования движения роботов.

Задачи, решаемые планировщиками движения. Свойства планировщиков движения. Разновидности методов планирования движения. Описание конфигурационного пространства препятствий. Расстояний до препятствий и регистрация столкновений. Графы и деревья. Поиск пути по графу, пример (A\*). Дискретизация конфигурационного пространства с помощью сетки, пример (A\*). Построение сетки высокого разрешения вблизи препятствия. Особенности сеточных алгоритмов планирования пути для колесного робота и робота-манипулятора. Методы случайных выборок. Алгоритм быстро исследуемое случайное дерево (RRTs), модификации RRTs. Алгоритм вероятностной дорожной карты (PRM). Метод виртуальных потенциальных полей. Сведение задач планирования движения к задачам нелинейной оптимизации. Методы сглаживания спланированных траекторий.

Тема 11. Захват и манипуляции объектами.

Определения. Кинематика контакта. Типы контакта, пример. Контакт нескольких объектов, пример. Графический метод визуализации возможных движений одного тела, находящегося в контакте с неподвижными телами, пример. Предотвращение движения захваченного объекта, примеры Контактные силы, трение. Манипулирование, примеры.

Тема 12. Кинематика колесных мобильных роботов.

Типы колесных роботов. Мобильные роботы со всенаправленными колесами: моделирование кинематики, планирование движения, управление с обратной связью. Кинематика неголономных колесных роботов: одноколесный робот, двухколесный робот с дифференциальным приводом, автомобилеподобный робот, обобщенная кинематическая модель неголономных мобильных роботов. Управляемость неголономных мобильных роботов. Планирование движения неголономных мобильных роботов. Управление с обратной связью в неголономных мобильных роботах. Одометрия. Манипулятор, установленный на колесном роботе.

Тема 13. Шагающие роботы.

История развития и обзор современных двуногих роботов.

## **9. Текущий контроль по дисциплине**

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, проведения контрольных работ, тестов по лекционному материалу, выполнения домашних заданий, и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

## **10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации**

**Экзамен в первом семестре** проводится в письменной форме по билетам. Экзаменационный билет состоит из двух частей. Продолжительность экзамена 1,5 часа.

Первая и вторая часть проверяет компетенции ИОПК-1.1, ИОПК-13.1, ИПК-3.1, ИПК-3.2.

Первая часть представляет собой тест из 30 вопросов, ответы на которые даются путем выбора из списка предложенных.

Вторая часть содержит два вопроса, ответы на которые даются в развернутой форме.

Проверка компетенций ИОПК-1.2, ИОПК-1.3, ИОПК-13.2, ИОПК-13.3 и ПК-3.3 осуществляется в результате выполнения и интерпретации результатов по ряду практических заданий, которые обучающийся получает в течение всего семестра.

Примерный перечень теоретических вопросов:

1. Перечислите и объясните признаки мехатронной системы;
2. Что такое конфигурационное пространство препятствий? Назовите способы представления конфигурационного пространства в памяти робота;
3. Что такое пространство задач робота и рабочее пространство робота? Приведите примеры.

Примеры практических заданий:

1. В программном комплексе CoppeliaSim запрограммировать функции ручного управления идеализированной моделью мобильного робота, которая была создана в ходе выполнения предыдущего задания. Реализовать интерфейс пользователя для задания скорости и направления движения робота;
2. На рисунке показан робот, используемый для реабилитации рук человека. Определите количество степеней свободы цепи, образованной человеческой рукой и роботом;
3. В программном комплексе TRIK Studio напишите алгоритм движения модели колесного робота «змейкой». Осуществите плавный разгон робота от 0 до 100 в течение 2 секунд и плавное торможение от 100 до 0 в течение 3 секунд;

Результаты экзамена определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Оценки «отлично» заслуживает обучающийся, показывающий всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, умение свободно выполнять практические задания;

Оценки «хорошо» заслуживает обучающийся, показывающий полное знание учебного материала, допустившим незначительные погрешности при выполняющий практического задания;

Оценки «удовлетворительно» заслуживает обучающийся, показавший знания основного учебного материала в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии; допустившим погрешности в ответе на экзамене и при выполнении экзаменационных заданий, но обладающим необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя;

Оценка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся, обнаружившему пробелы в знаниях основного учебного материала, допустившему принципиальные ошибки в выполнении практических заданий.

## **11. Учебно-методическое обеспечение**

а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» - <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=22470>

б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине:

- Банк контрольных вопросов;
- Тестовый контроль с применением автоматизированной обучающей системы;
- в) План семинарских / практических занятий по дисциплине.

– План практических работ: Создание виртуальной модели колесного робота в среде CoppeliaSim; Изучение и программирование колесного мобильного робота ТРИК, программирование виртуальной модели в среде TRIK Studio, сборка и запуск реального робота; Изучение и программирование шагающего робота ROBOTIS OP3, программирование виртуальной модели в пакете прикладных программ Robot Operating System, запуск реального робота.

г) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов:

– Самостоятельная (внеаудиторная) работа студентов состоит в проработке лекционного материала, учебно-методической литературы и интернет-ресурсов, выполнении домашних заданий, подготовке к выполнению практических заданий, подготовке к сдаче экзамена.

– Самостоятельная (аудиторная) работа студентов заключается в выполнении проверочных работ. Проверочные работы представляют собой письменные ответы на вопросы, заданные преподавателем, а также тестовый контроль с применением автоматизированной обучающей системы.

## **12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет**

а) основная литература:

– Lynch K. M. Modern Robotics: Mechanics, Planning, and Control / K. M. Lynch, F. C. Park. – Cambridge : Cambridge University Press, 2017. – 544 p.

– Robotics: Modelling, Planning and Control / B. Siciliano, L. Sciavicco, L. Villani, G. Oriolo. – London : Springer, 2009. – 632 p.

– Spong M. W. Robot Modeling and Control / M. W. Spong, S. Hutchinson, M. Vidyasagar. – Hoboken, NJ : John Wiley & Sons, Inc., 2020. – 608 p.

б) дополнительная литература:

– Niku S. B. Introduction to Robotics: Analysis, Control, Applications / S. B. Niku. – Hoboken: Wiley, 2020. – 528 p.

– Principles of robot motion: theory, algorithms, and implementation / H. Choset, K. M. Lynch, S. Hutchinson [et al.]. – Cambridge : MIT Press, 2005. – 626 p.

– Бройнль Т. Встраиваемые робототехнические системы: проектирование и применение мобильных роботов со встроенными системами управления / Т. Бройнль. – Москва, Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2012. – 518 с.

– Крейг Д. Дж. Введение в робототехнику. Механика и управление / Д. Дж. Крейг. – Москва, Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2013. – 564 с.

– Лукинов А. П. Проектирование мехатронных и робототехнических устройств: учебное пособие / А. П. Лукинов. – СПб. : Издательство «Лань», 2012. – 608 с.

– Егоров О. Д. Робототехнические мехатронные системы: учебник / О. Д. Егоров, Ю. В. Подураев, М. А. Буйнов. – М. : ФГБОУ ВПО МГТУ «СТАНКИН», 2015. – 326 с.

в) ресурсы сети Интернет:

– открытые онлайн-курсы

– Modern Robotics //

URL: [http://hades.mech.northwestern.edu/index.php/Modern\\_Robotics](http://hades.mech.northwestern.edu/index.php/Modern_Robotics) (дата обращения: 16.03.2022)

## **13. Перечень информационных технологий**

а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

– Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office On-eNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);

– публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.);

- условно-бесплатное программное обеспечение: CoppeliaSim, Microsoft Visual Studio Community;
- бесплатное программное обеспечение: TRIK Studio, Ubuntu, Robot Operating System;

б) информационные справочные системы:

- Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ – <http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>
- Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ – <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>
- ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>
- ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>
- Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>
- ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.com/>
- ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

#### **14. Материально-техническое обеспечение**

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения практических занятий, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

Аудитории для проведения занятий лекционного и семинарского типа индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации в смешенном формате («Актру»).

#### **15. Информация о разработчиках**

Фролов Олег Юрьевич, кандидат физико-математических наук, доцент, кафедра прикладной газовой динамики и горения, физико-технический факультет НИ ТГУ, доцент