



# Моделирование и управление манипуляционными роботами

---

Анастасия Александровна Усова  
(к.ф.-м.н., PhD)



# Формат курса

## Когда?

- + Еженедельные лекции.
- + Домашние-практические работы\*

## Где?

Яндекс-телефон

## Общение и вопросы?

- + По электронной почте: [anastasy.edu@gmail.com](mailto:anastasy.edu@gmail.com)
- + Telegram group: <https://t.me/+fNoy9-6r1qFhZTVi> или QR-код:



## Зачет?

Зачет по результатам выполнения практических работ.

## Экзамен?

Экзамен учитывает результаты выполнения практических работ и включает дополнительные задания.

---

\* Для практических работ понадобятся пакеты программ, поддерживающие символьные вычисления, например, **Python** [Spyder], **MatLab** (license is required), **Octave** (free software).

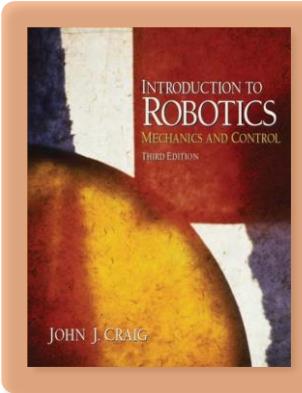
# Учебники и книги

## Основная книга курса

**Introduction to Robotics: Mechanics and Control**

Third Edition

**John J. Craig**



## Другая литература

Bruno Siciliano • Lorenzo Sciavicco • Luigi Villani • Giuseppe Oriolo

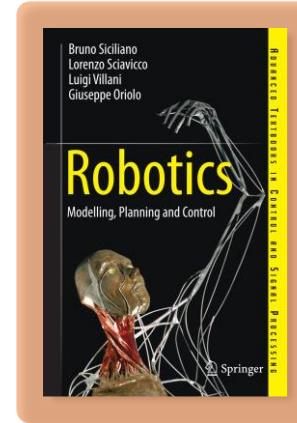
Robotics: Modelling, Planning and Control

Springer-Verlag London Limited 2010

С.Л. Зенкевич • А.С. Ющенко

Управление роботами

Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана



# План курса

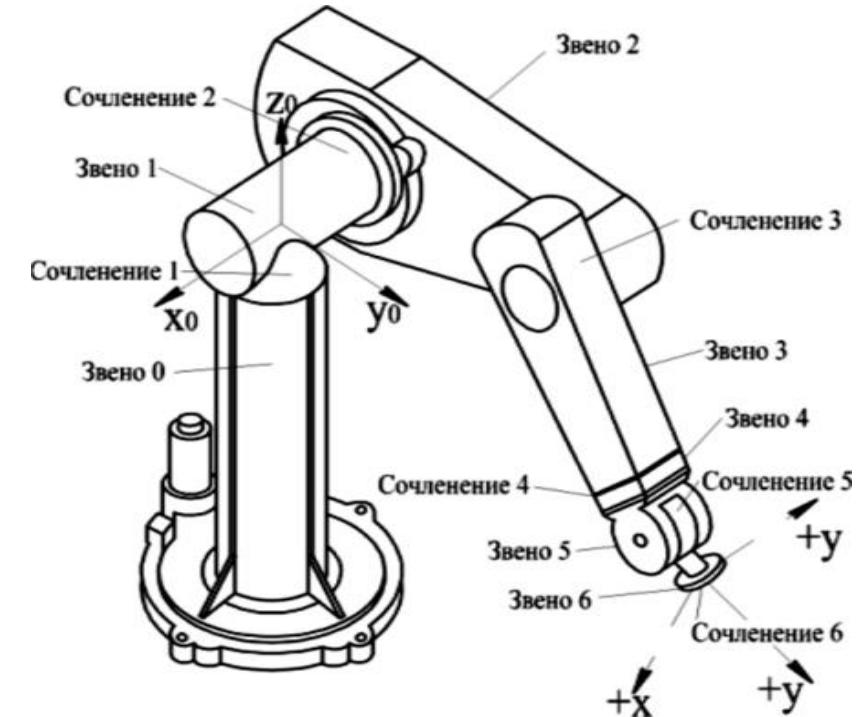
## Темы в рамках курса «Моделирование и управление манипуляционными роботами»

1. Вводная часть. Что есть манипулятор и какова его структура?
2. Пространственное описание позиции и ориентации звена манипулятора. Пространственные преобразования. Однородные преобразования.
3. Определение положения и ориентации звеньев манипулятора. Система параметров Денавита-Хартенберга (DH параметры). Разбор примеров построения системы DH-параметров для различных манипуляторов.
4. Прямая позиционная задача (Forward kinematics). Разбор примеров (двузвенные и трехзвенные манипуляторы). Реализация алгоритма решения позиционной задачи в системе Matlab. (Самостоятельная работа № 1.)
5. Обратная позиционная задача (Inverse kinematics). Разбор примеров. Существование и не единственность решения обратной задачи. Алгебраический и геометрический подходы к решению обратной задачи. (Самостоятельная работа № 2.)
6. Якобианы, скорости и статические силы. Понятие линейной и угловой скорости. Относительные скорости. Вычисление скоростей. Построение якобианов. Их свойства.
7. Якобиан для сил. Разбор примеров. (Самостоятельная работа № 3.) Реализация алгоритма вычисления скоростей в системе Matlab.
8. Динамика манипулятора. Вычисление ускорений. Разбор примеров. (Самостоятельная работа № 4.) Реализация алгоритма вычисления ускорений в системе Matlab.
9. Рекурсивный алгоритм Ньютона-Эйлера для построения уравнения динамики манипулятора. Разбор примеров. (Самостоятельная работа № 5.) Реализация алгоритма Ньютона-Эйлера в системе Matlab.
10. Динамика манипулятора в декартовом пространстве (Cartesian space). Разбор примеров. (Самостоятельная работа № 6.)
11. Построение траекторий движения манипулятора (Trajectory generation or planning). Описание проблемы построения траекторий, ограничения на траектории.
12. Простейшие законы управления манипулятором. Управление, приводящее манипулятор в заданную позицию (Position control = Regulation problem). Реализация законов управления в Matlab. (Самостоятельная работа № 7.)
13. Простейшие законы управления манипулятором. Управление, ведущее манипулятор по заданной траектории (Trajectory tracking control). Реализация законов управления в Matlab. (Самостоятельная работа № 8.)
14. Дальнейшие проблемы в моделировании и управлении манипуляторами и сложными роботизированными системами. Задачи управления роботом.

# Введение: Основные понятия и структура робота

## Структура робота с жесткими сочленениями

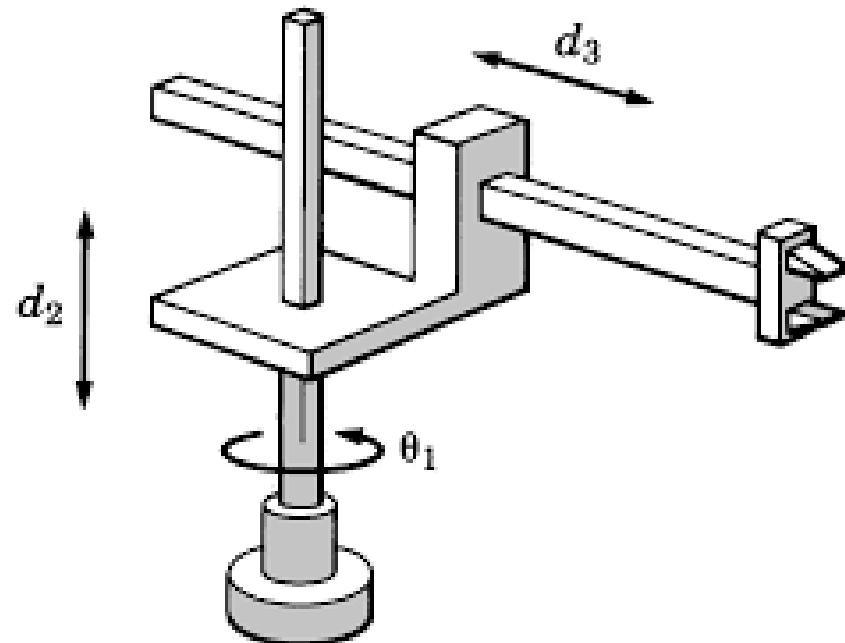
- Манипуляторы состоят из **жестких звеньев [links]**, которые соединяются в **сочленения [joints]** (шарнирами).
- Неподвижное основание называется **базовым (базой)**.
- Последнее сочленение, взаимодействующее с внешней средой, называют **схватом [end-effector]**.
- Сочленения обычно оснащаются **датчиками положения**, которые позволяют измерять относительное положение соседних звеньев.



# Введение: Виды движений

## Виды движений в сочленениях робота

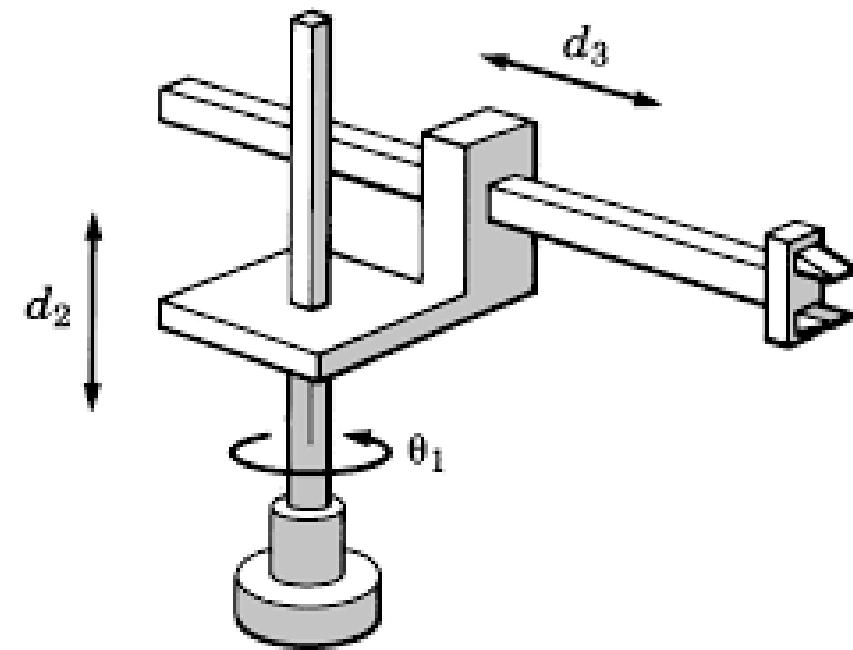
- В случае поворотных или вращательных сочленений, смещение (сочленение) называют **угловым [joint angle]**.
- Некоторые манипуляторы содержат скользящие сочленения, в которых относительное смещение между звеньями по сути есть перенос, такие смещения (сочленения) называют **поступательными [prismatic joint]**. ([Robotic Arm Geometry.mp4](#))
- Количество степеней свободы, которыми обладает манипулятор, - это количество независимых переменных положения, которые необходимо указать, чтобы определить местонахождение всех частей механизма. ([Six Degrees of Movement.mp4](#))



# Введение: задачи моделирования роботов [1]

## Основные задачи математического моделирования

1. **Прямая кинематическая задача** состоит в вычислении пространственных координат ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) схвата через обобщенные переменные, описывающие движение каждого сочленения.
2. **Обратная задача кинематики** заключается в вычислении значений обобщенных переменных по заданному положению в пространстве.  
! Решение этой задачи осложняется нелинейностью системы и не единственностью решения.
3. **Скорости.** Якобиан. Определение точек сингулярности (точки не обратимости якобиана).
4. **Статические силы** – силы взаимодействия звеньев робота. Определение обобщенных сил на сочленениях [joint torques]. Якобиан сил.



# Введение: задачи моделирования роботов [2]

## Основные задачи математического моделирования

5. Прямая динамическая задача состоит в описании движения робота, вызванного внешними силами. Вычисление сил, необходимых для перемещения «схват» в заданную позицию.
6. Проектирование траекторий с целью достижения роботом некоторой позиции или движения по заданному пути. Задача состоит в учете ограничений, связанных со скоростями, ускорениями и прохождением заданных позиций в пространстве.
7. Управление роботом. Огромное количество задач, связанных с построением законов управления роботом для
  - достижения целевого положения [Regulation problem];
  - выходу и движению по заданной траектории [Tracking problem];
  - контроля за силами взаимодействия схватом с внешней средой [Force control];
  - повышения эффективности работы робота, и пр.

[\(Robot Demo2 HQ.mp4\)](#)

