

Основы мехатроники и робототехники

*Доктор технических наук
профессор*

*Юрий Викторович Подураев
заведующий кафедрой*

«Робототехника и мехатроника»



Виды занятий

- *16 лекций (x 2 час)*
- *12 практических занятий (x 2 час)*
- *12 лаб. работ (x 4 час)*
- *Экзамен (персональный конспект)*

Основная литература

1. Подураев Ю.В. Мехатроника: основы, методы, применение. М.: Машиностроение. 2007-2008
2. Робототехнические мехатронные системы: учебник / О.Д. Егоров, Ю.В. Подураев, М.А. Буйнов. – ФГБОУ ВПО МГТУ «СТАНКИН», 2015
3. ГОСТ Р 60.0.0.4–2018/ ISO 8373:2012

Дополнительная литература

1. Топчеев Ю.И., Макаров И.М. Робототехника. История и перспективы. М.: МАИ, 2003.
2. Научно-технический журнал «Мехатроника. Автоматизация. Управление».
3. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования. Бакалавриат. Направление подготовки 15.03.06 Мехатроника и робототехника.

Термин «Робот»

Карел Чапек «RUR»
(Россумовские универсальные
роботы), 1921

Аналоги: «Работа», «Раб»,
«Рабочий»



1890 - 1938

Термин «Робот»

Карел Чапек «RUR»
(Россумовские универсальные
роботы), 1921

**Коллективная драма в трех действиях со
вступительной комедией.**

«Ребята, это – преступление старой Европы: она научила роботов воевать! Неужели, черт подери, не могли они не лезть всюду со своей политикой? Это было преступление – превращать рабочие машины в солдат».



1890 - 1938

***ТЕРМИН «РОБОТОТЕХНИКА»
(Robotics)***

**Введен писателем - фантастом Айзеком
Азимовым в 1940-х годах (рассказы
«Лжец» и др.)**

ТРИ ЗАКОНА РОБОТОТЕХНИКИ

Закон 1. Робот не может причинить вред человеку или своим бездействием допустить, чтобы человеку был причинён вред.

Закон 2. Робот должен повиноваться всем приказам, которые даёт человек, кроме тех случаев, когда эти приказы противоречат Первому Закону.

Закон 3. Робот должен заботиться о своей безопасности в той мере, в которой это не противоречит Первому и Второму Законам.

*Международная
терминология
робототехники*

ГОСТ Р 60.0.0.4–2018/

ISO 8373:2012

*(проект, окончательная
редакция)*

Общие термины: РОБОТ

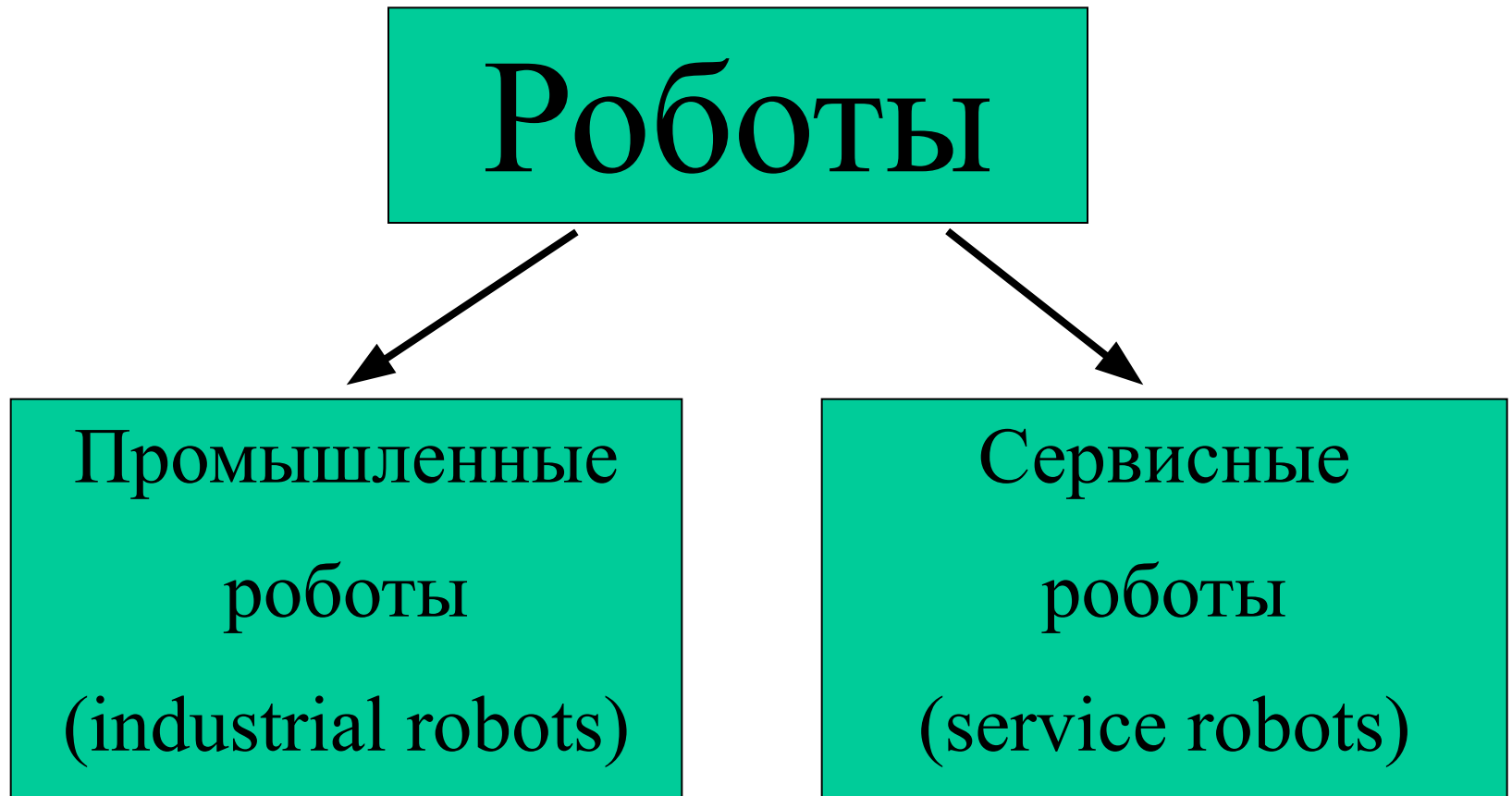
Робот (Robot): Исполнительный механизм, программируемый по двум или более **степеням подвижности**, обладающий определенной степенью **автономности** и способный перемещаться во внешней среде с целью выполнения задач по назначению.

Примечания

1 В состав робота входит **система управления и интерфейс системы управления.**

2 Классификация роботов на **промышленные роботы** или **сервисные роботы** осуществляется в соответствии с их назначением.

Две категории роботов



Две категории роботов

Назначение - промышленная автоматизация:

- **Производство**
- **Сборка**
- **Упаковка**
- **Другое**



**Промышленные
роботы**

Другое назначение



**Сервисные
роботы**

Две категории роботов



**IRB
1200**

<https://new.abb.com/products/robotics>

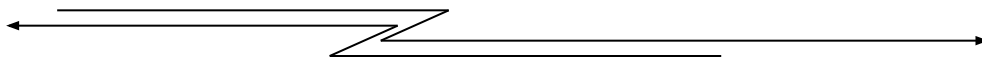
Робот

**Исполнительный
механизм**

**Система
управления**



**Интерфейс системы
управления**



Общие термины: СТЕПЕНЬ ПОДВИЖНОСТИ

Степень подвижности:

Параметр, используемый для задания поступательного или вращательного движения робота.

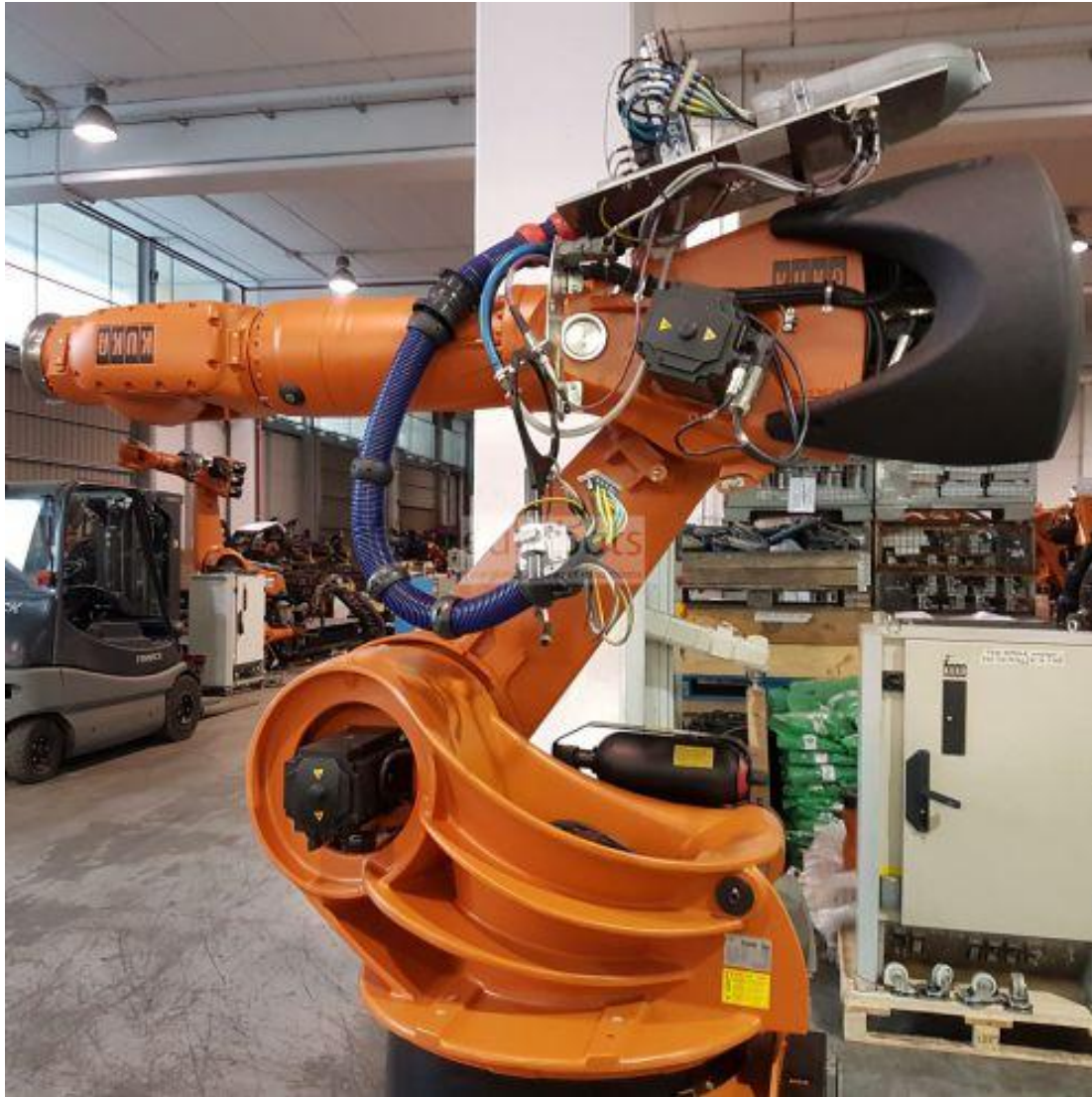
Axis (англ.) - ось

Робот с прямоугольной системой координат



**Число степеней
подвижности
 $n = ?$**

Робот KUKA KR 500



**Число степеней
подвижности
 $n = ?$**

Робот KUKA KR 500

ВИДЕО (Youtube):

- Simulation of the KUKA KR 500 Robot
- Robot KUKA KR 500 wrist mechanics

Общие термины: МАНИПУЛЯТОР

Манипулятор (manipulator): Машина, механизм которой обычно состоит из последовательности сегментов, перемещающихся вращательно или поступательно друг относительно друга с целью захвата и/или перемещения объектов (деталей или инструментов) обычно по нескольким **степеням свободы**.

Примечания

1 Манипулятор может управляться **оператором**, программируемым электронным контроллером или любой логической системой (например копирующим устройством, монтажной логикой).

2 В состав манипулятора не входит **рабочий орган**.

Общие термины: РАБОЧИЙ ОРГАН

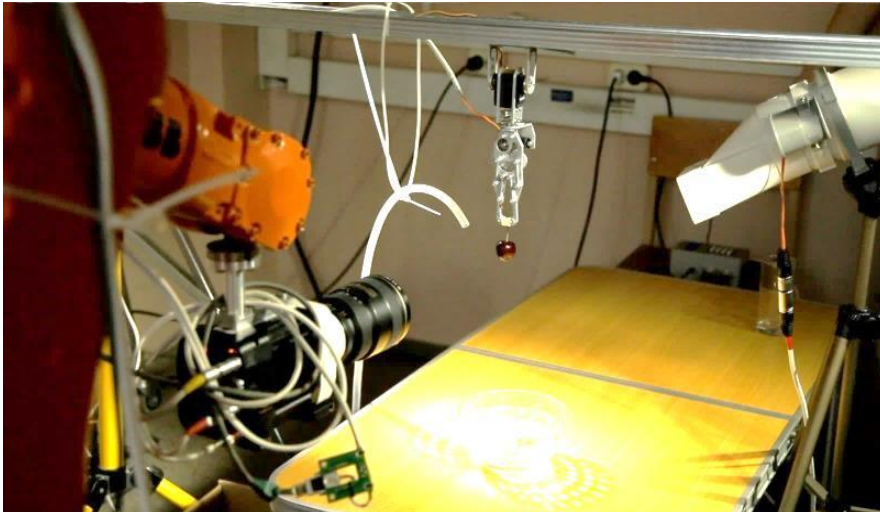
Рабочий орган (end effector): Устройство, специально разработанное для закрепления на **механическом интерфейсе** с целью обеспечить выполнение задания **роботом**.

Пример – Захватное устройство, гайковерт, сварочный пистолет, краскопульт.

Захватное устройство (gripper): Рабочий орган, сконструированный для захватывания и удержания объектов.

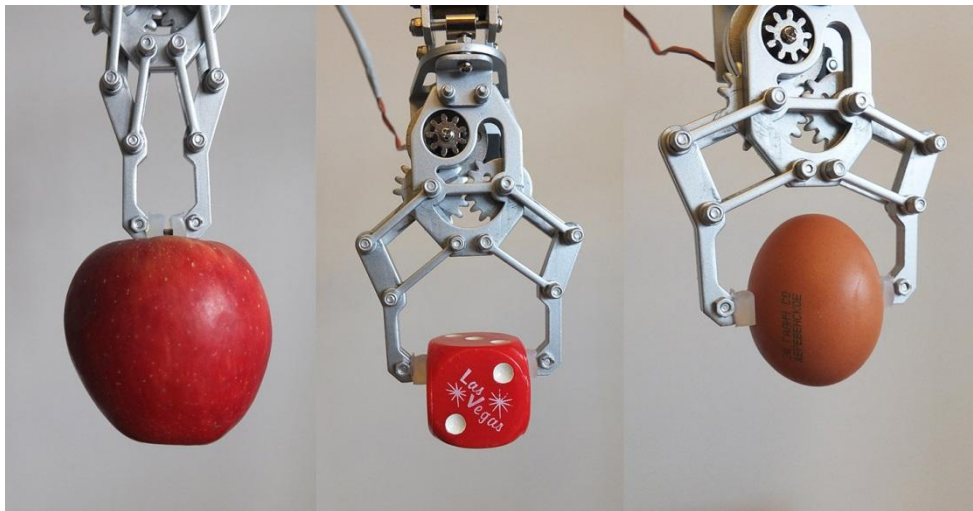
РТК высокоскоростной съемки

- Промышленный робот ABB IRB 140
- Высокоскоростная камера Miro 320
- Устройство синхронизации
- Периферийное оборудование



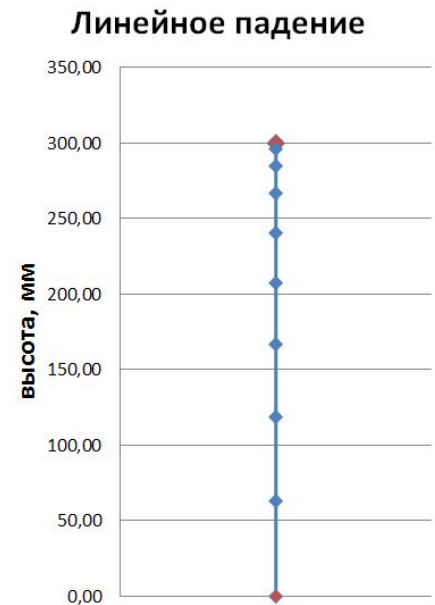
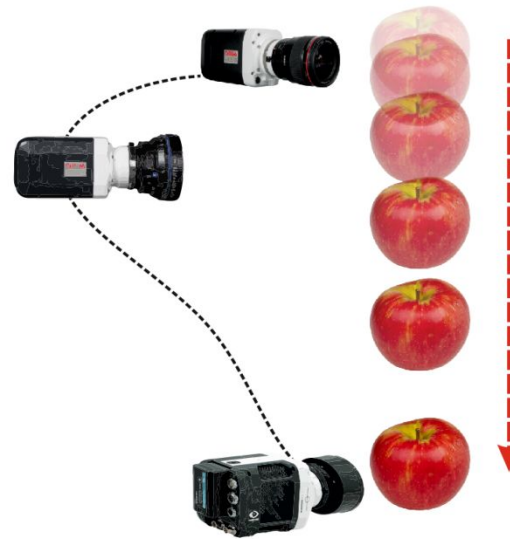
РАБОЧИЕ ОРГАНЫ

- Захватное устройство для сброса объектов
- Устройство высыпания мелких объектов
- Выливное устройство для жидкостей



Особенность РТК

Возможность движения камеры с ускорением
свободного падения, как по линейным, так и по
СЛОЖНЫМ
траекториям.

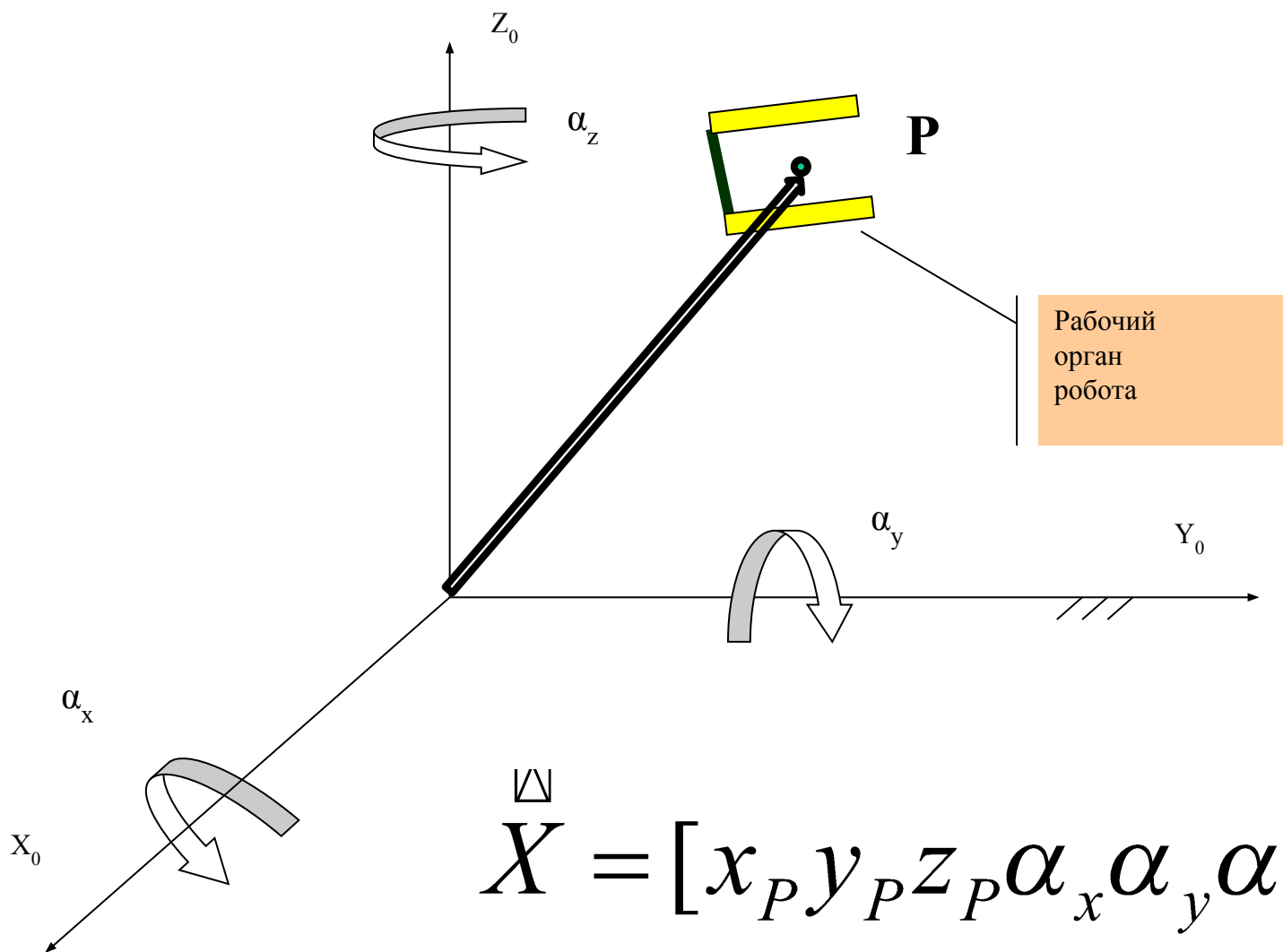


ВИДЕО!!!

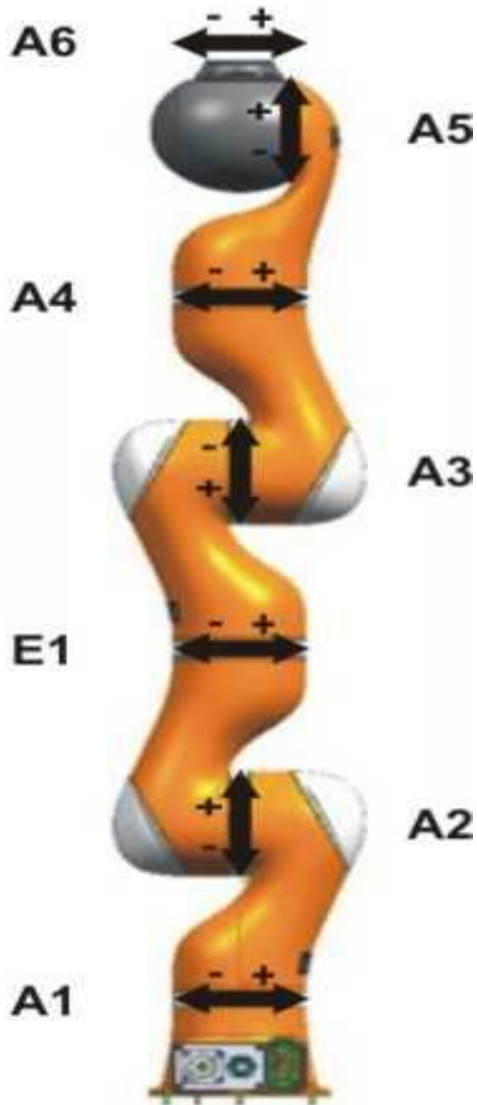
Общие термины: СТЕПЕНЬ СВОБОДЫ

Степень свободы (degree of freedom, DOF):
Одна из переменных (максимальное число которых равно шести), необходимых для определения движения тела в пространстве.

Степени свободы рабочего органа робота



Роботы с избыточными степенями подвижности



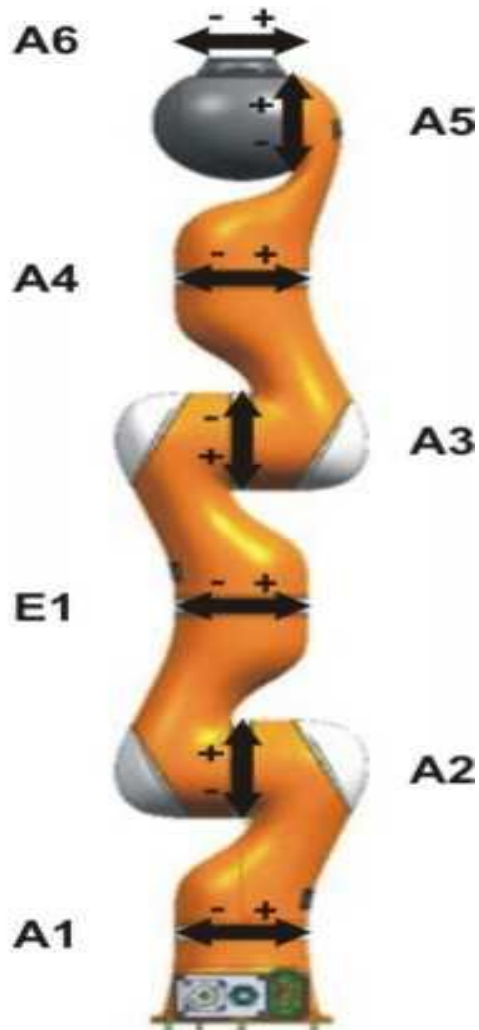
Робот LBR 4+ (фирма KUKA)
Видео!!

$n = ?$

KUKA

Sensitive robotics_LBR iiwa

Роботы с избыточными степенями подвижности



Робот LBR 4+ (фирма KUKA)

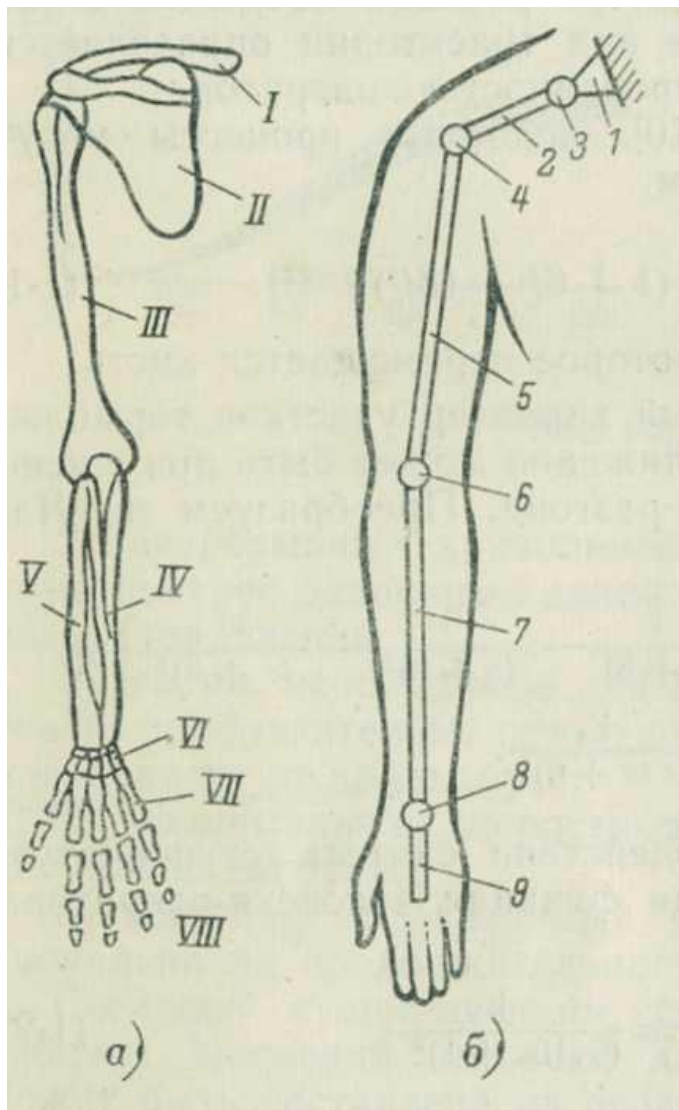
$n = 7$ степеней
ПОДВИЖНОСТИ

KUKA

Sensitive robotics_LBR iiwa



Экспериментальный стенд
роботической биопечати эмали *in situ*



Скелет и кинематическая схема руки человека

Общие термины: СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ

Система управления (control system):
Совокупность управляющей логики и силовых функций, позволяющих контролировать и управлять механической конструкцией **робота** (2.6), а также осуществлять взаимосвязь с внешней средой (оборудованием и пользователями).

Общие термины: АВТОНОМНОСТЬ

Автономность (autonomy): Способность выполнять поставленное задание без вмешательства человека с учетом своего текущего состояния и данных о внешней среде.

ВИДЕО!!!

*Международная
терминология
робототехники*

ГОСТ Р 60.0.0.4–2018/

ISO 8373:2012

*(проект, окончательная
редакция)*

Общие термины: РОБОТ

Робот (Robot): Исполнительный механизм, программируемый по двум или более **степеням подвижности**, обладающий определенной степенью **автономности** и способный перемещаться во внешней среде с целью выполнения задач по назначению.

Примечания

1 В состав робота входит **система управления и интерфейс системы управления.**

2 Классификация роботов на **промышленные роботы** или **сервисные роботы** осуществляется в соответствии с их назначением.

Общие термины: РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО

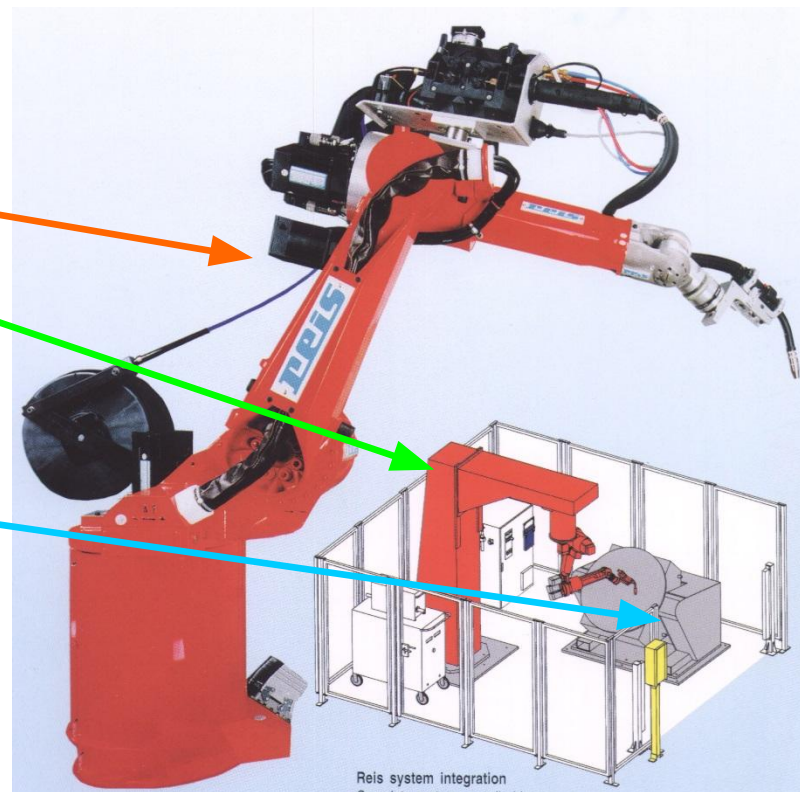
Робототехническое устройство
(robotic device): Исполнительный механизм, обладающий характеристиками промышленного робота или сервисного робота, но не имеющий либо необходимого числа программируемых степеней подвижности, либо некоторой степени автономности.

Общие термины: РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

Робототехнический комплекс (robot system): Комплекс, состоящий из одного или нескольких **роботов**, их **рабочих органов** и любых механизмов, оборудования, приборов или датчиков, обеспечивающих выполнение роботом функционального назначения (задания).

Робототехнический комплекс - РТК

- Включает в себя сам
робот (группу
роботов) и другое
сопряженное
технологическое
оборудование



РТК лазерной резки фирмы REIS (Германия)

Определение промышленного робота (industrial robot)

Автоматически управляемый,
перепрограммируемый, реконфигурируемый
манипулятор, программируемый по трем или более
степеням подвижности, который может быть либо
установлен стационарно, либо перемещаться для
применения в целях промышленной автоматизации.

Определение сервисного робота (service robot)

Робот, который выполняет задания,
полезные для человека или оборудования,
за исключением применений в целях
промышленной автоматизации.

Признаки классификации промышленных роботов

1. Грузоподъемность
2. Возможность передвижения
3. Тип привода
4. Способ установки на рабочем месте
5. Выполняемая технологическая операция
6. Способ управления
7. Способ программирования
8. Базовая система координат

Грузоподъемность промышленных роботов

- сверхлегкие – номин. грузоподъемность до 1 кг.
- легкие – номин. грузоподъемность от 1 до 10 кг.
- средние – номин. грузоподъемность от 10 до 200 кг.
- тяжелые – номин. грузоподъемность от 200 до 1000 кг.
- сверхтяжелые – номин. грузоподъемность более 1000 кг.

Возможность передвижения промышленных роботов

- стационарные промышленные роботы;
- подвижные промышленные роботы.

Тип привода промышленных роботов

- ПР с электромеханическими приводами.
- ПР с гидравлическими приводами.
- ПР с пневматическими приводами.
- ПР с комбинированными приводами.

Привод робота (robot actuator):

Силовой механизм, используемый для осуществления движения **робота**.

Пример – Двигатель, преобразующий электрическую, гидравлическую или пневматическую энергию для осуществления движения робота.

Способ установки на рабочем месте промышленных роботов

- напольные промышленные роботы;
- подвесные промышленные роботы;
- встроенные промышленные роботы.

Выполняемая технологическая операция

- универсальные промышленные роботы – роботы, осуществляющие разные технологические операции в зависимости от установленного рабочего органа;
- сборочные промышленные роботы;
- сварочные промышленные роботы;
- окрасочные промышленные роботы;
- перегрузочные промышленные роботы – роботы, для загрузо-разгрузочных операций;

Выполняемая технологическая операция (продолжение)

- обрабатывающие промышленные роботы – роботы, используемые при операциях механообработки (шлифовка, удаление заусенцев и т.п.);
- транспортные промышленные роботы – роботы, осуществляющие внутрицеховые и межцеховые перемещения полезного груза.

Способ управления промышленных роботов

- промышленные роботы с ручным управлением
- промышленные роботы с программным управлением
- промышленные роботы с адаптивным управлением

Роботы с интеллектуальным управлением

Способ программирования промышленных роботов

- промышленные роботы, программируемые обучением;
- промышленные роботы программируемые аналитически (автономное программирование);
- промышленные роботы, программируемые целеуказанием (супервизорное управление).

Программирование обучением (teach programming):

Программирование, осуществляемое с помощью проведения вручную **рабочего органа** робота, либо проведения вручную механического моделирующего устройства, либо с использованием **пульта обучения** с целью перемещения **робота** по последовательности заданных пространственных расположений.

.

Video: Robot position teaching through Teach Pendant.mp4

Автономное программирование (off-line programming):

Способ программирования, при котором **программа выполнения задания** подготавливается на устройствах, отдельных от **робота**, для последующего ее ввода в систему управления роботом.

SprutCAM —система подготовки управляющих программ для промышленных роботов на персональных компьютерах

ВИДЕО:

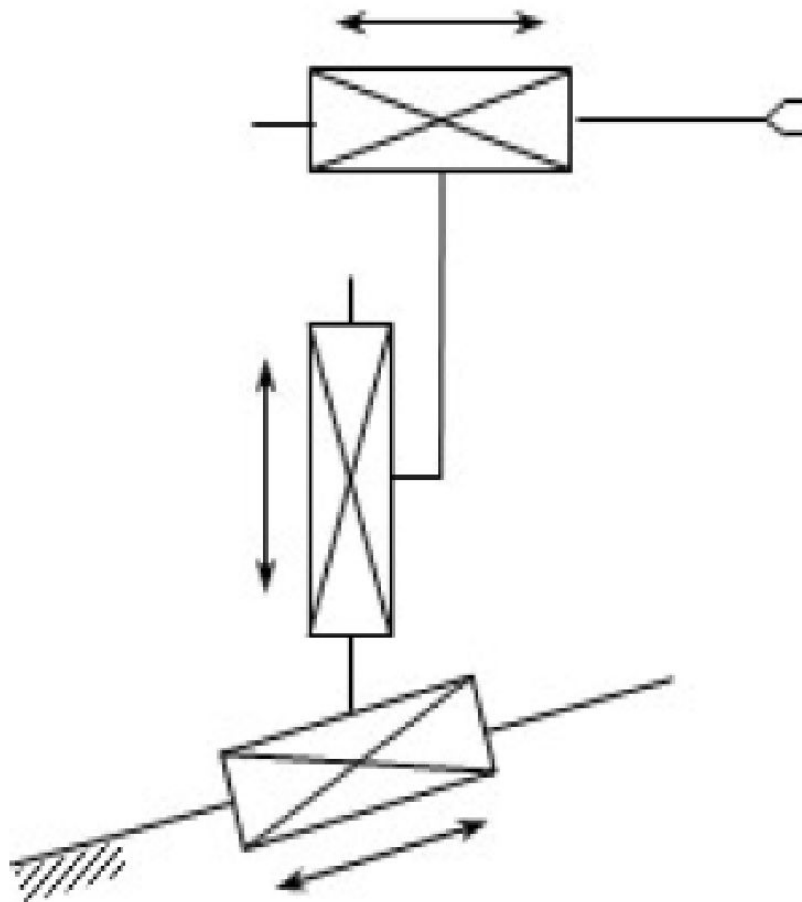
SprutCAM_ сварка (welding).mp4

<https://www.sprut.ru/products-and-solutions/products/sprutcam/robot-promo>

Базовая система координат

- промышленные роботы с прямоугольной системой координат
- промышленные роботы с цилиндрической системой координат
- промышленные роботы со сферической системой координат
- промышленные роботы с угловой системой координат
- промышленные роботы с комбинированной системой координат.

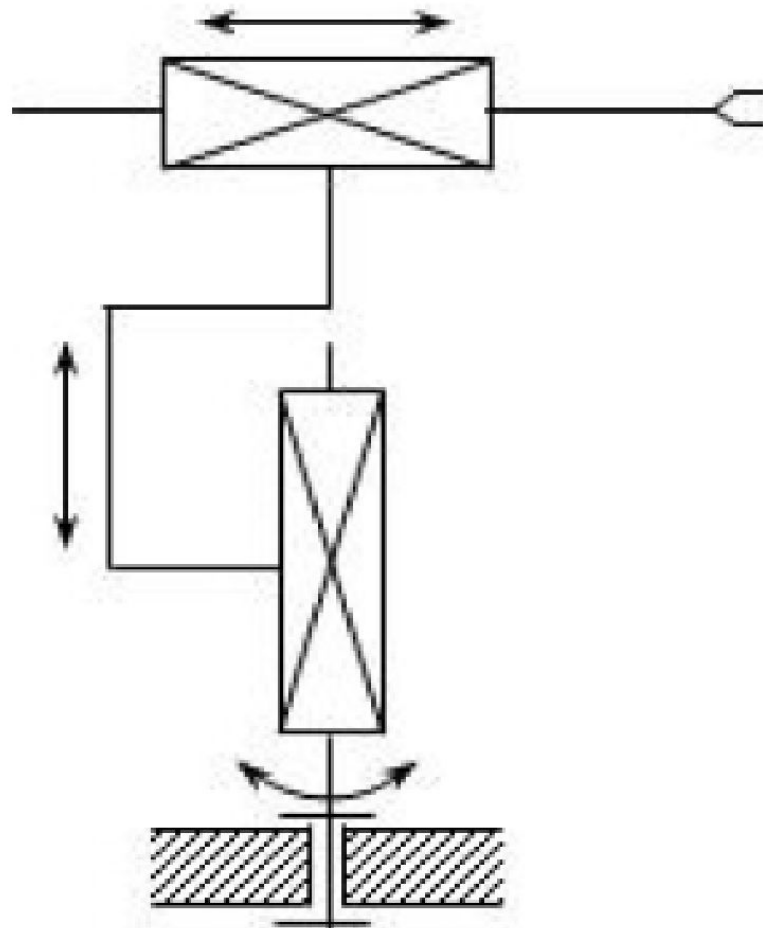
Прямоугольная система координат



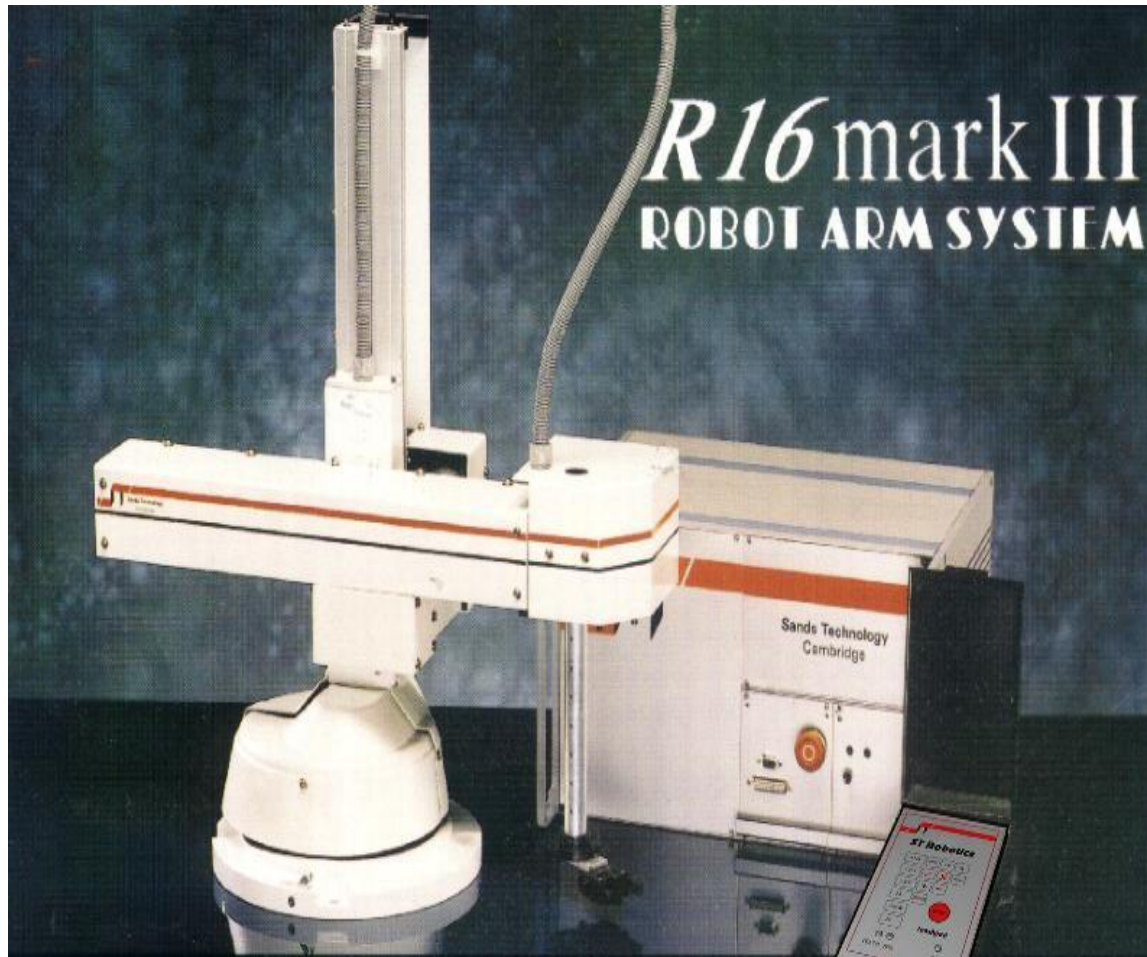
Прямоугольная система координат



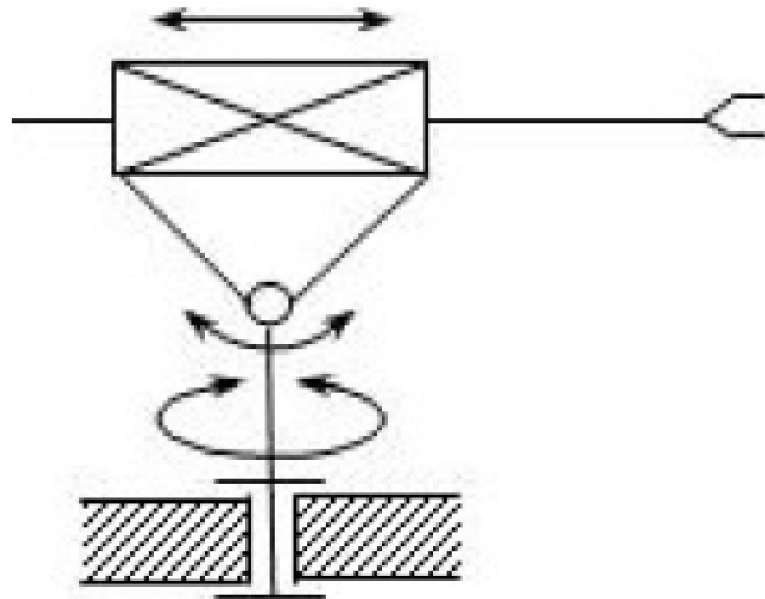
Цилиндрическая система координат



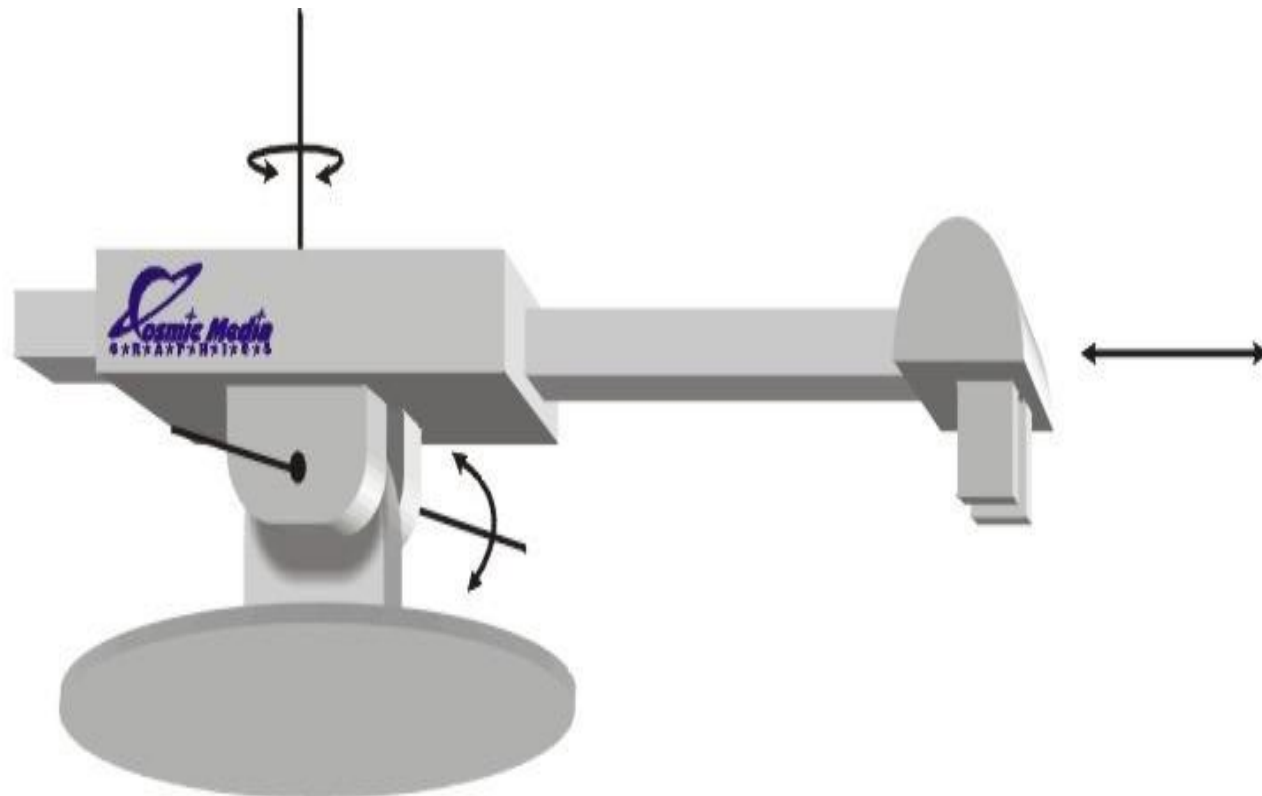
Цилиндрическая система координат



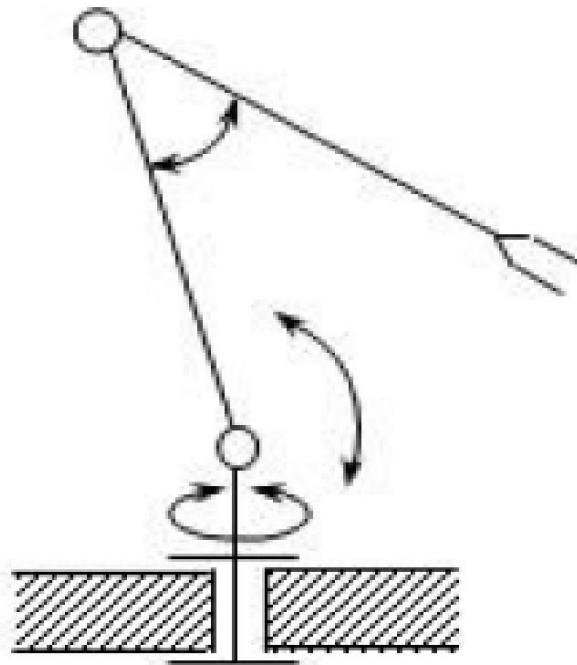
Сферическая система координат



Сферическая система координат



Угловая система координат



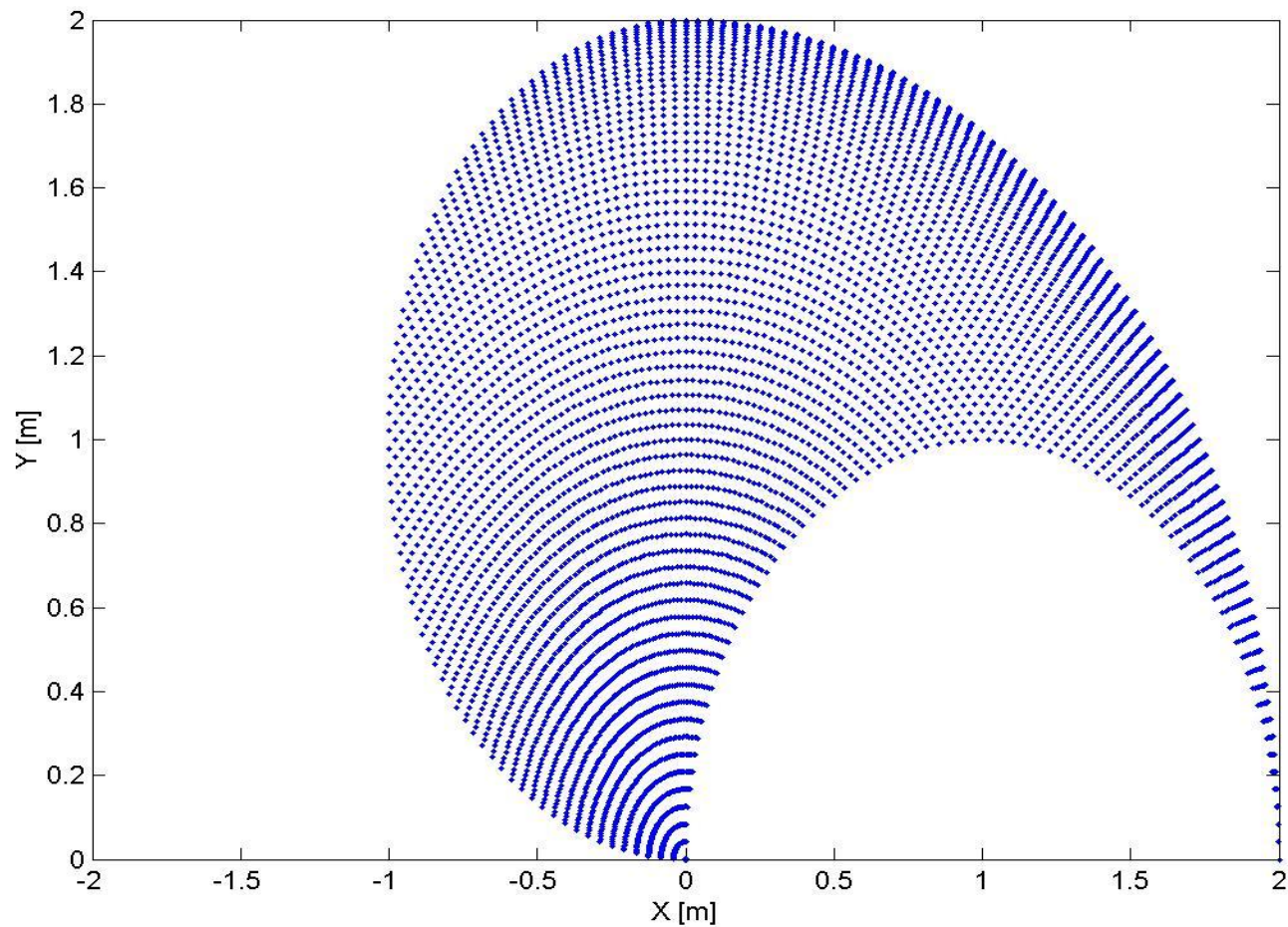
Угловая система координат (типа SCARA)



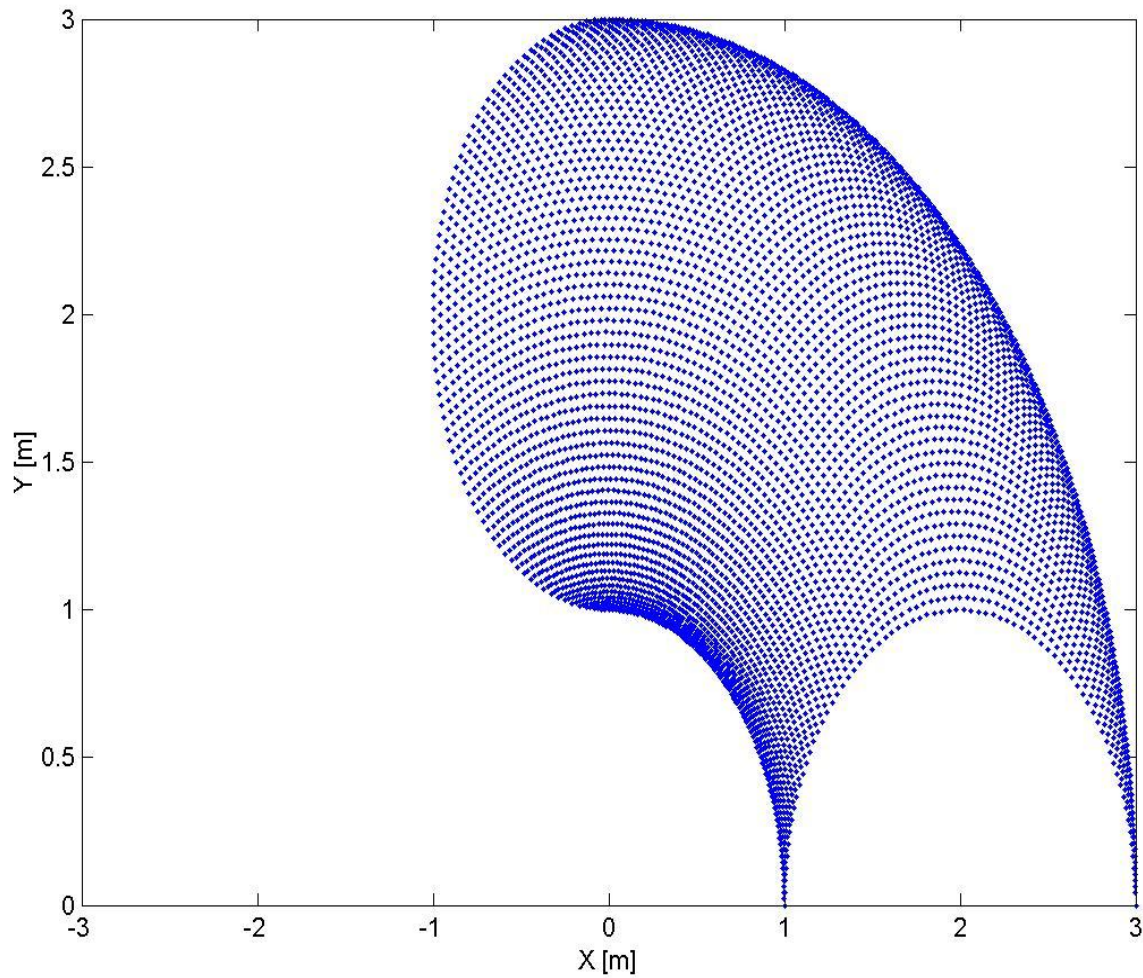
ВИДЕО:

SCARA_MATLAB_program_demo.mp4

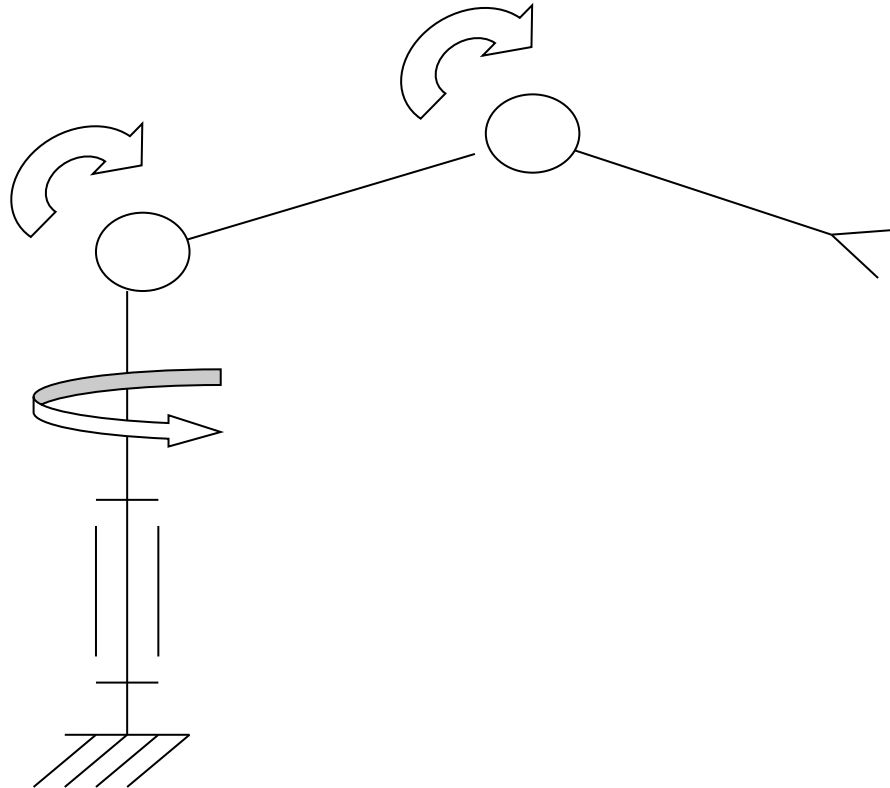
Сечение рабочей зоны для двухзвенного манипулятора типа SCARA ($L_1 = L_2$)



Сечение рабочей зоны для двухзвенного манипулятора типа SCARA ($L_1 = 2L_2$).



Угловая система координат (типа PUMA)



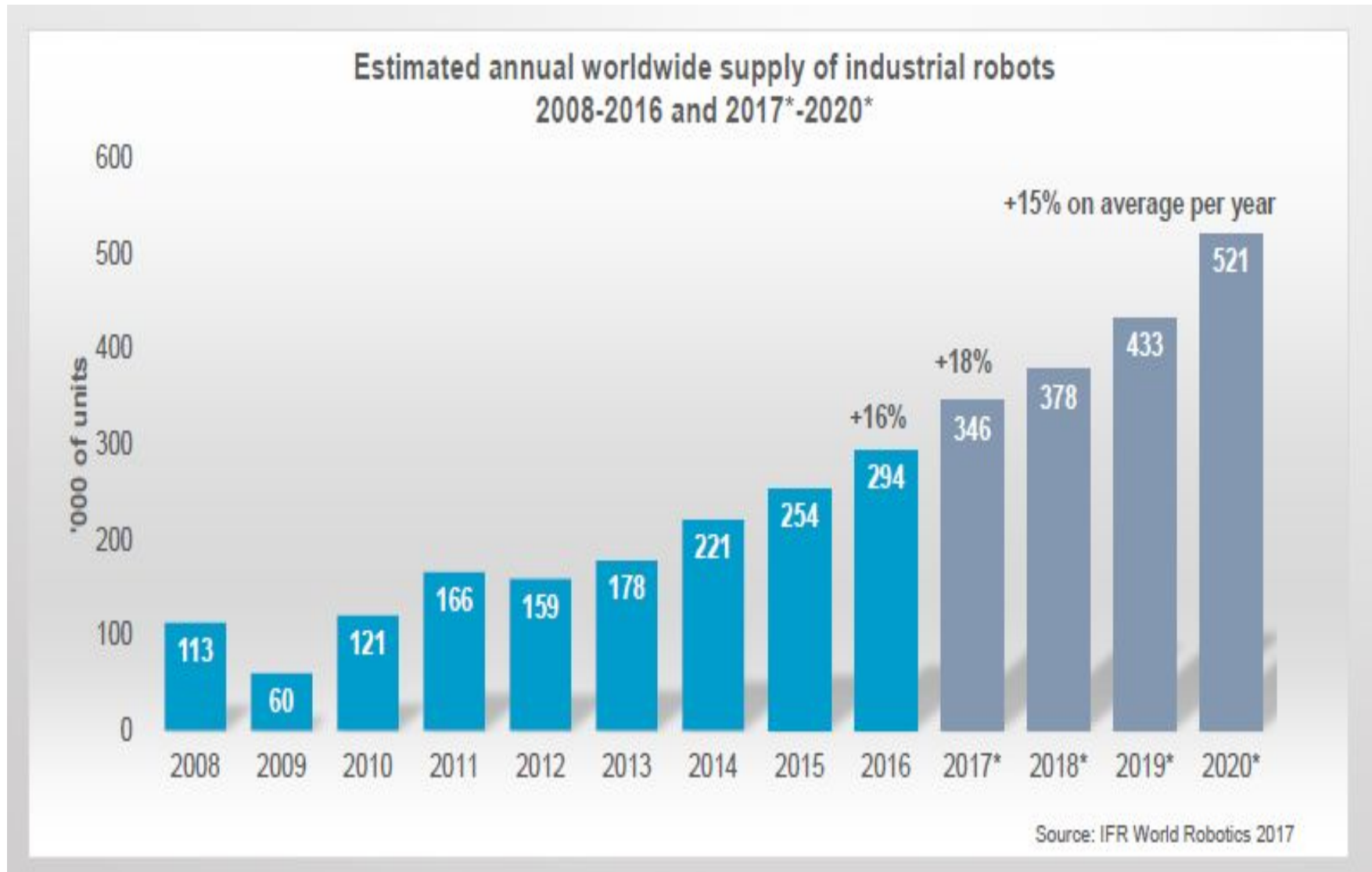
Угловая система координат (типа PUMA)



ВИДЕО: Puma_Robot_560RobotPuma560207.3gp

Внедрение новых промышленных роботов (2008 – 2020)

International Federation of Robotics
<https://ifr.org/>

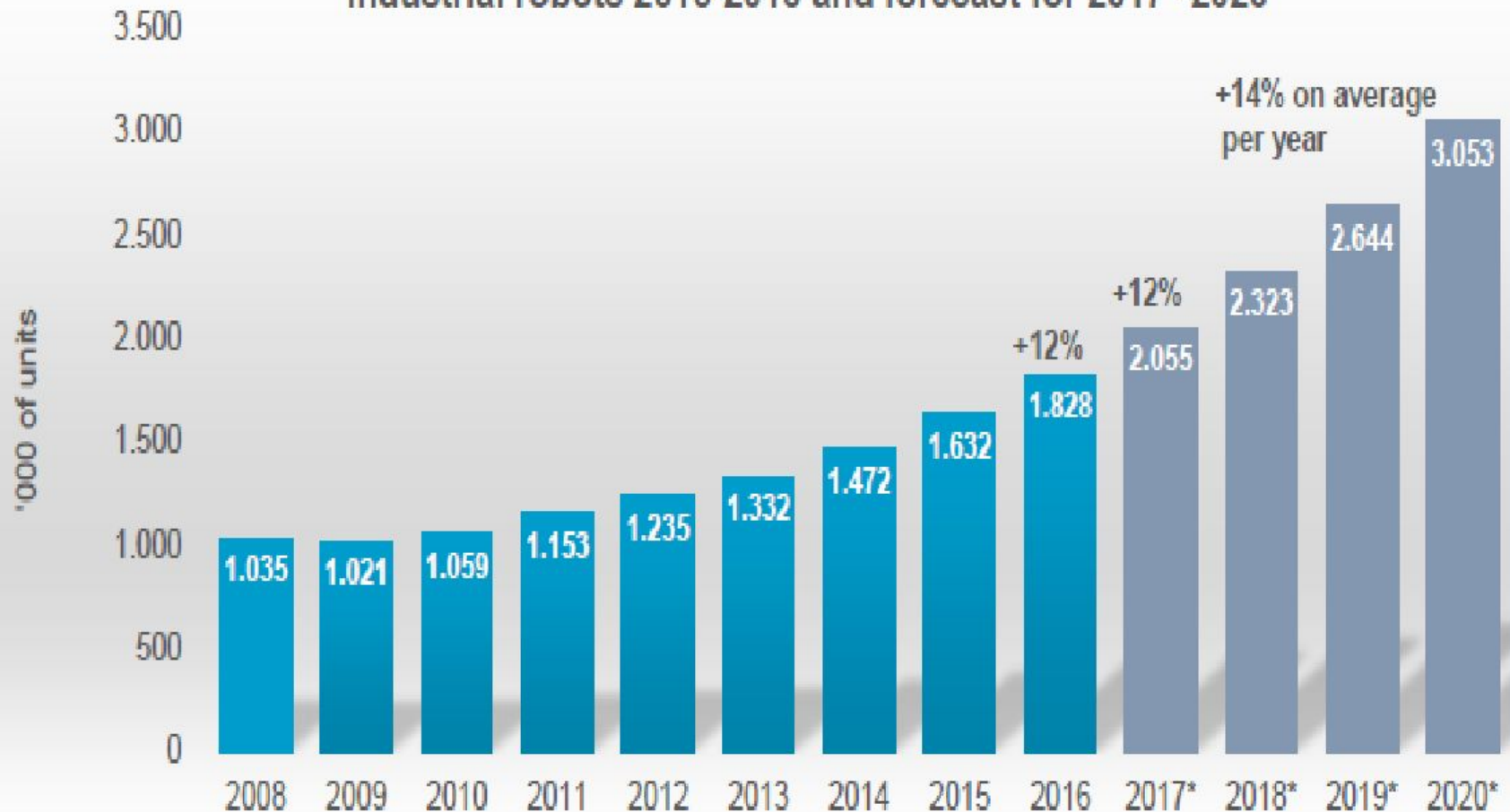


Общее количество внедренных ПР

International Federation of Robotics

<https://ifr.org/>

Estimated worldwide operational stock of industrial robots 2015-2016 and forecast for 2017*-2020*



*forecast

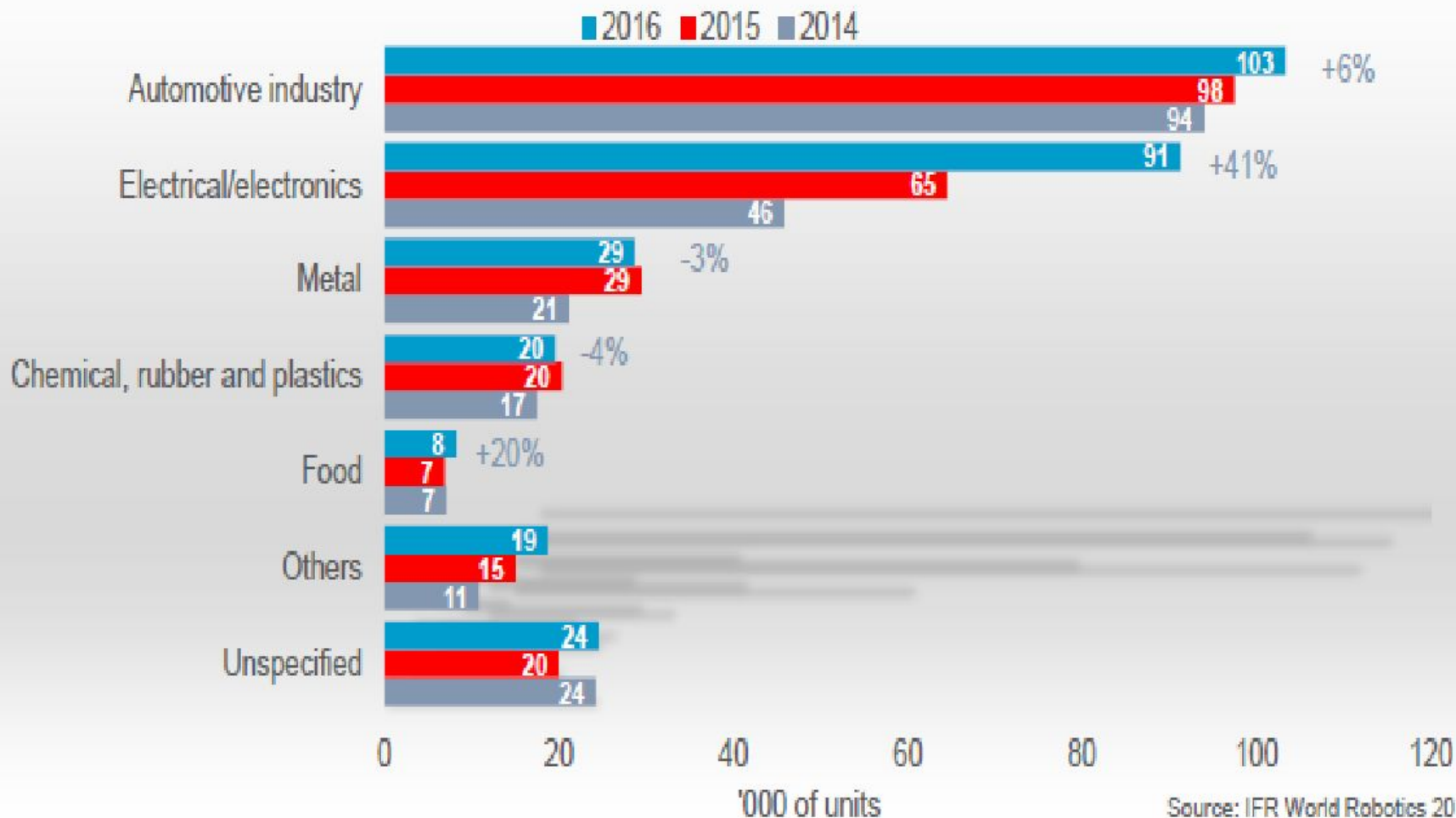
Source: IFR World Robotics 2017

Перспективные области применения ПР

International Federation of Robotics

<https://ifr.org/>

Estimated annual supply of industrial robots at year-end
by industries worldwide 2014-2016



Признаки классификации сервисных роботов

- Возможность передвижения
 - роботы мобильные
 - роботы стационарные
- Область применения
 - роботы для личного и домашнего использования
 - роботы для профессионального использования (служат для выполнения коммерческих задач и управляются специально обученным оператором).

Сервисные роботы для личного и домашнего использования

- Роботы для домашней работы (уборка полов, стрижка газонов; чистка бассейнов; мытье окон и др.)
- Роботы для досуга (роботы-игрушки; мультимедийные роботы; обучающие роботы и др.)
- Роботы для помощи престарелым людям и инвалидам (робототехнические кресла-каталки; робототехнические ортопедические аппараты и протезы)
- Персональные транспортные роботы;
- Роботы, обеспечивающие безопасность и надзор за домом
- Роботы - собеседники

Сервисные роботы для профессионального использования

- Медицинские роботы*
- Роботы военного и специального назначения (воздушные - БПЛА, наземные и морские РТК)*
- Роботы для выполнения технологических операций*
- Роботы для работы в экстремальных условиях*
- Роботы для профессиональной уборки*
- Роботы для работы в общественных местах*
- Роботы для обследования и технического обслуживания*
- Роботы для строительства и демонтажа*
- Роботы для логистических систем*

Состояние мирового рынка сервисной робототехники

Professional service robots:

- 2016: 59,700 units, +24%
- 2017: 78,700 units, +17%
- 2018-2020: 397,000 units, 20% - 25% per year on average

Service robots for domestic/household tasks:

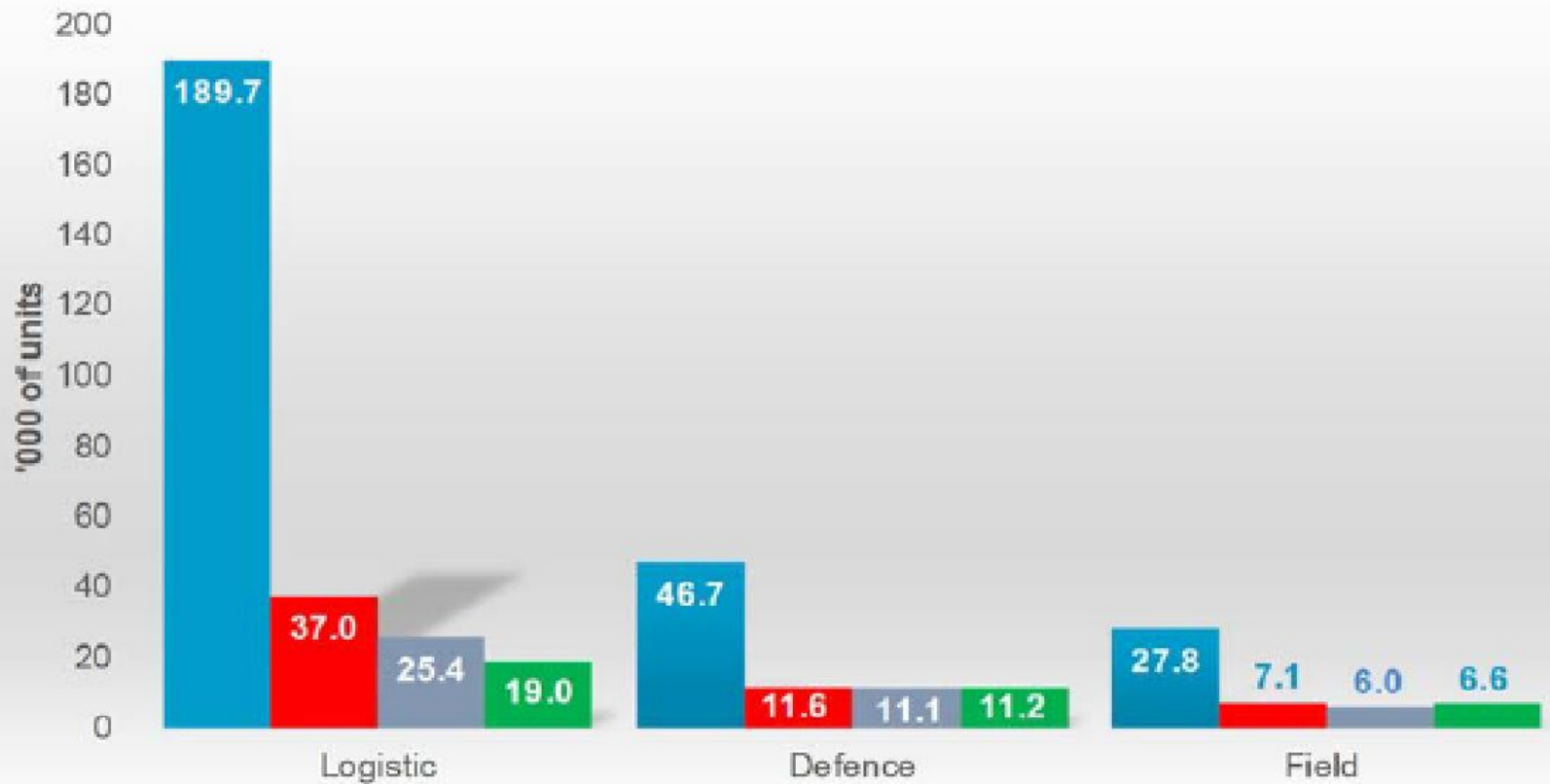
- 2016: 4.7 million units, +25%
- 2017: 6.1 million units, +30%
- 2018-2020: 32.4 million units, between 30%-35% per year on average

Service robots for entertainment:

- 2016: 2.1 million units, +22%
- 2017: 2.6 million units, +22%
- 2018-2020: 10.5 million units, between 20%-25% per year on average

Состояние мирового рынка сервисных роботов для профессионального использования

International Federation of Robotics
<https://ifr.org/>



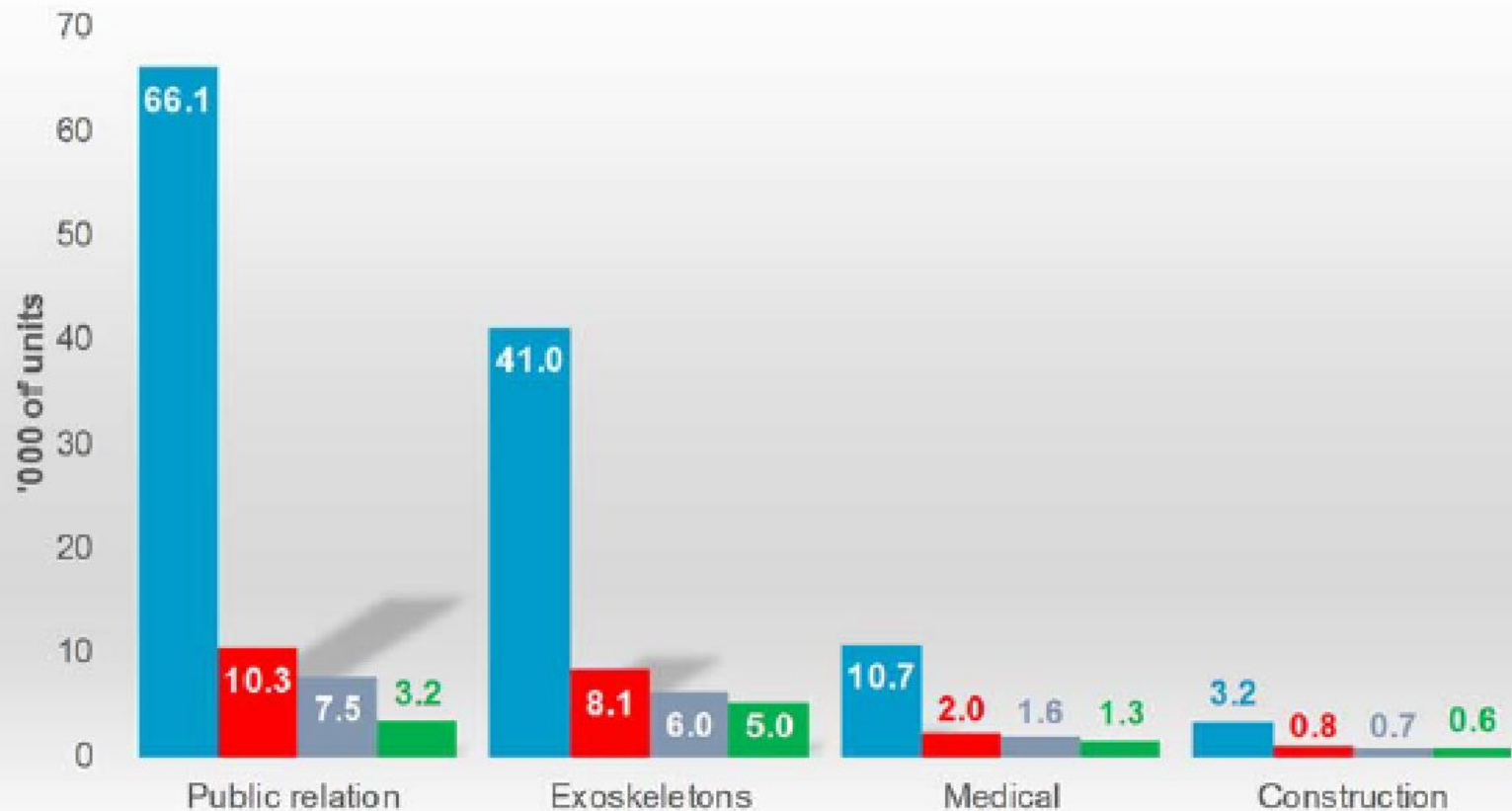
*forecast

■ 2018*-2020* ■ 2017* ■ 2016 ■ 2015

Source: World Robotics 2017

Состояние мирового рынка сервисных роботов для профессионального использования

International Federation of Robotics
<https://ifr.org/>



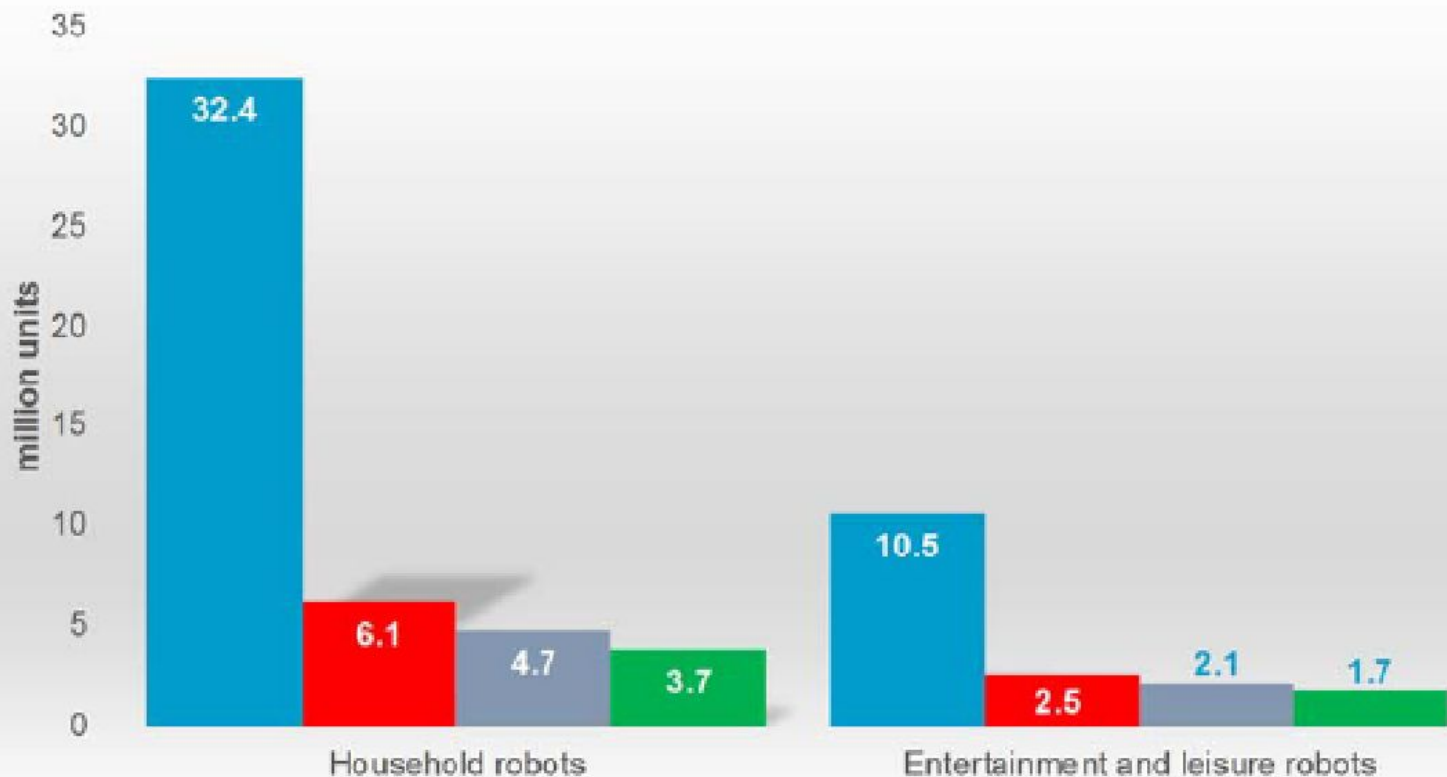
*forecast

■ 2018*-2020* ■ 2017* ■ 2016 ■ 2015

Source: World Robotics 2017

Состояние мирового рынка сервисных роботов для личного и домашнего использования

International Federation of Robotics
<https://ifr.org/>



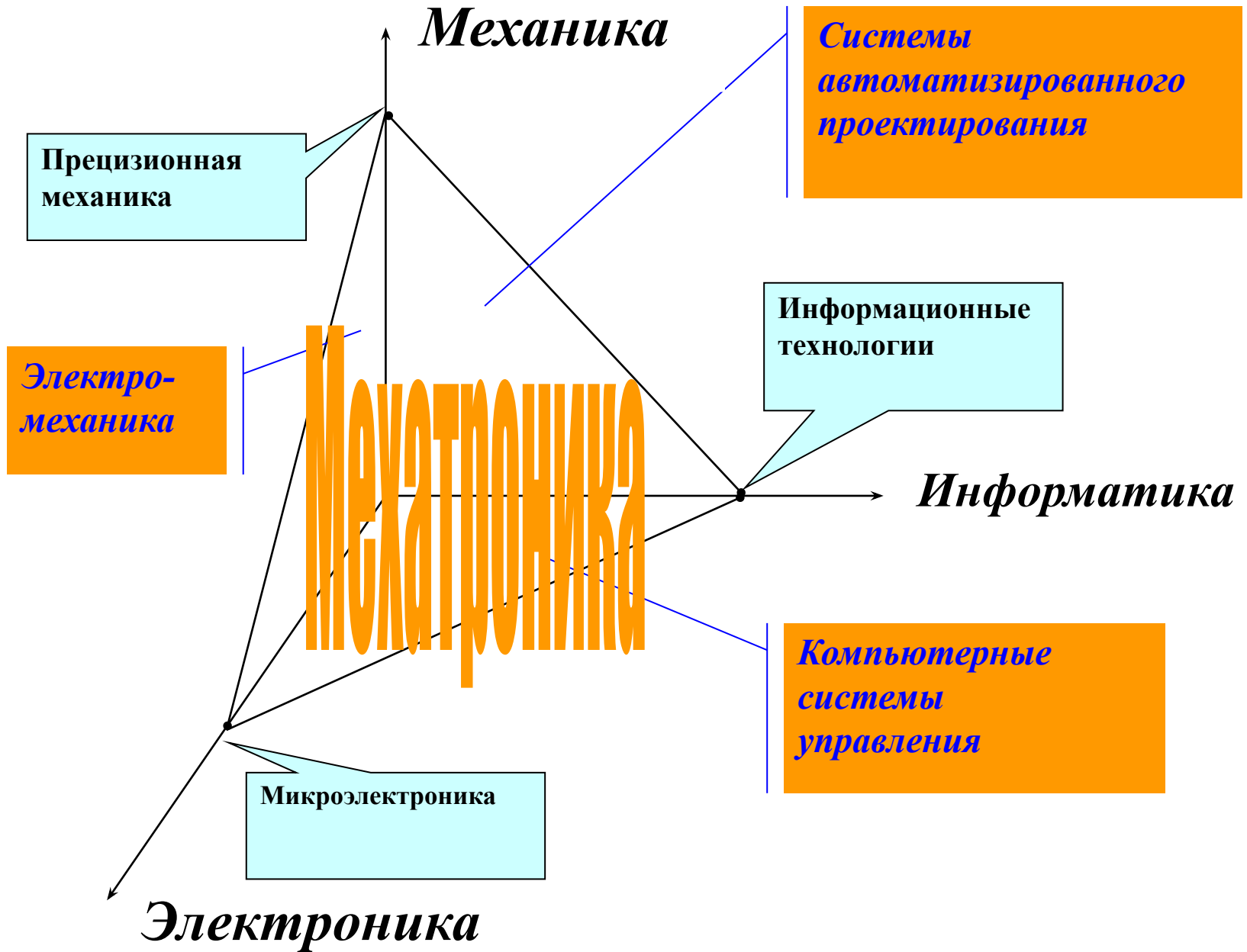
*forecast

■ 2018*-2020* ■ 2017* ■ 2016 ■ 2015

Source: World Robotics 2017

Основные определения мехатроники

"Мехатроника" - это область науки и техники, основанная на синергетическом объединении узлов точной механики с электронными и компьютерными компонентами, обеспечивающая проектирование и производство качественно новых модулей, систем и машин с интеллектуальным управлением их функциональными движениями"



Области применения мехатронных систем

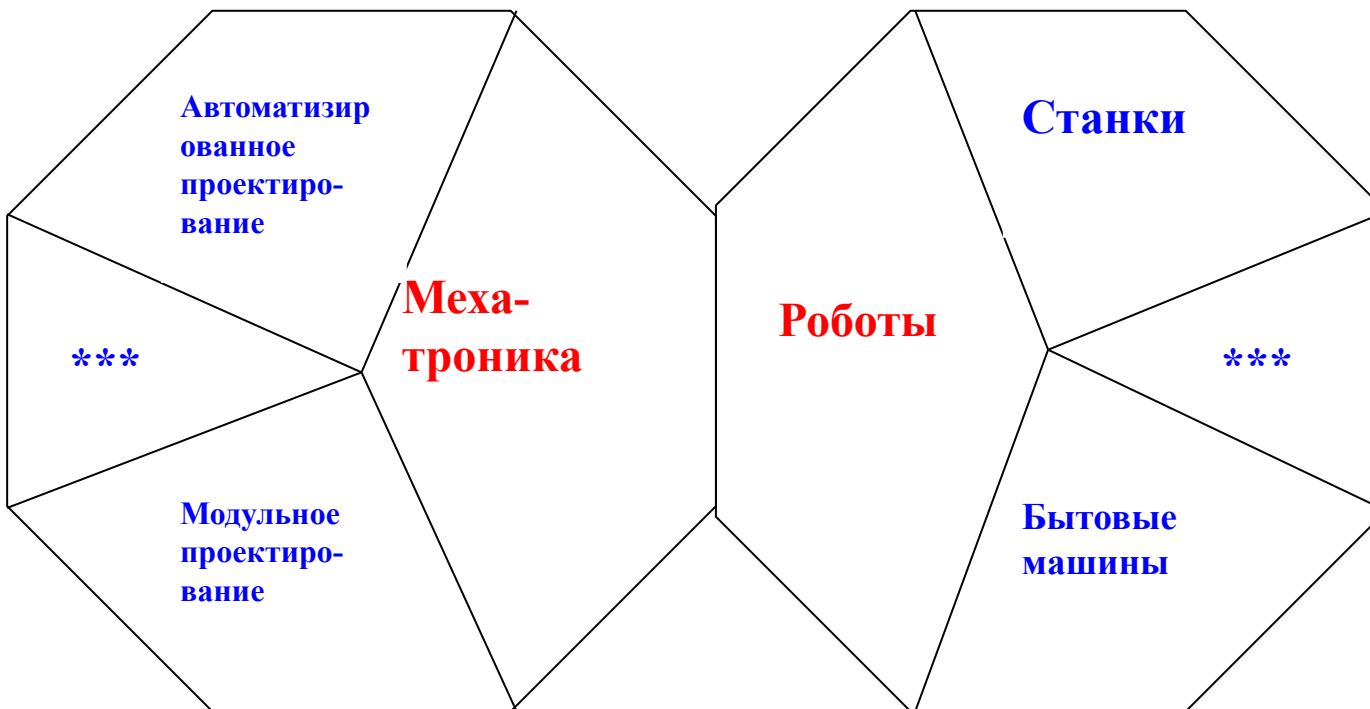
- *станкостроение и оборудование для автоматизации технологических процессов в машиностроении*
- *промышленная и сервисная робототехника*
- *авиационная космическая и военная техника*
- *автомобилестроение (гибридные двигатели, антиблокировочные устройства тормозов, автоматические коробки передач, системы автоматической парковки)*
- *специальные транспортные средства (электромобили, электровелосипеды, инвалидные коляски)*
- *офисная техника (например, копировальные и факсимильные аппараты)*
- *медицинское и спортивное оборудование (протезы для инвалидов, тренажеры, управляемые диагностические капсулы и т.д.)*

Области применения мехатронных систем

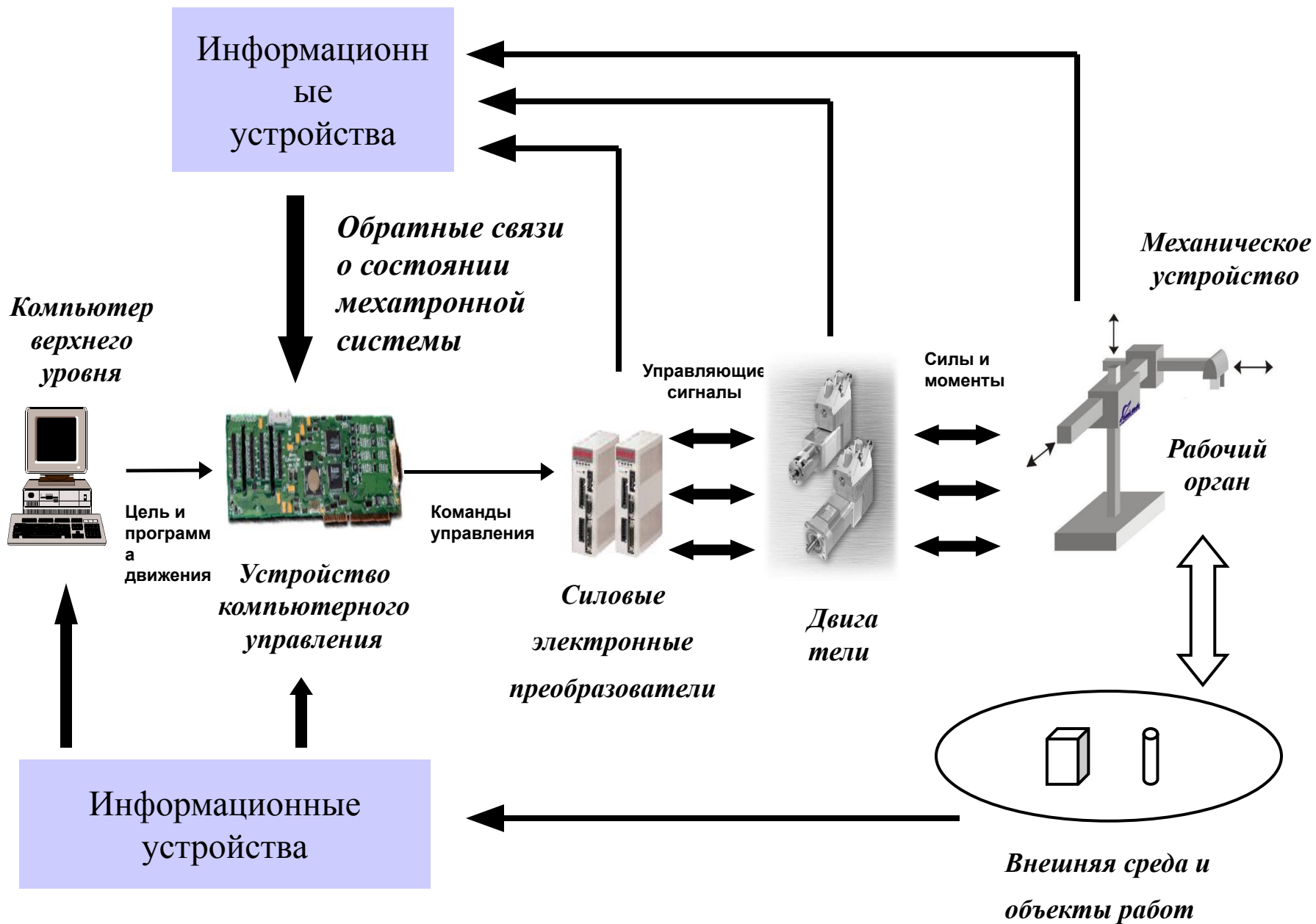
- бытовая техника (стиральные, швейные, посудомоечные машины, автономные пылесосы)
- микромашины (для медицины, биотехнологии, средств связи и телекоммуникации)
- контрольно - измерительные устройства и машины
- лифтовое и складское оборудование, автоматические двери в отелях и аэропортах
- тренажеры для подготовки операторов сложных технических систем и пилотов
- машины для пищевой и мясомолочной промышленности
- интеллектуальные устройства для шоу-индустрии, аттракционы

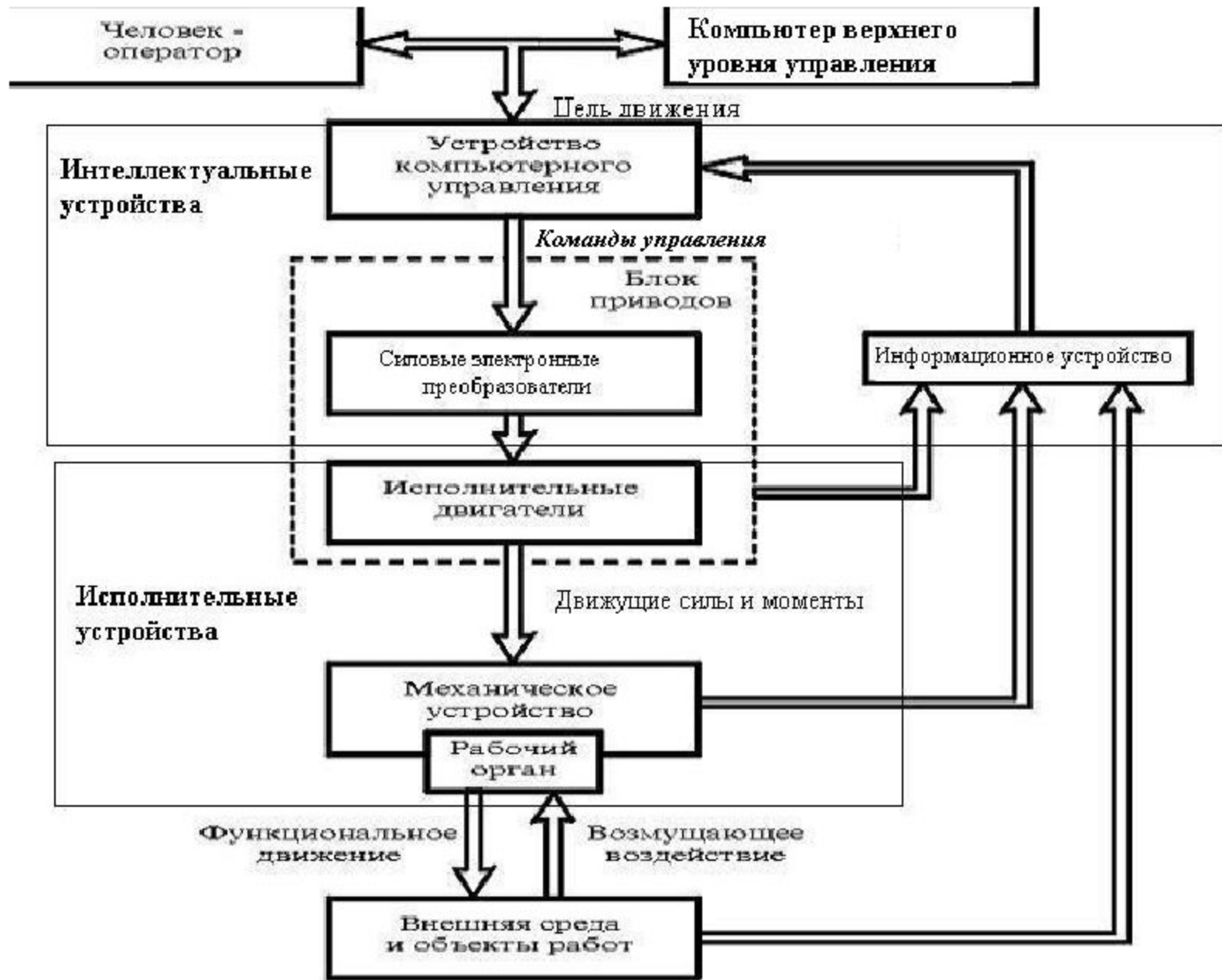
Инженерные методы

Классы машин

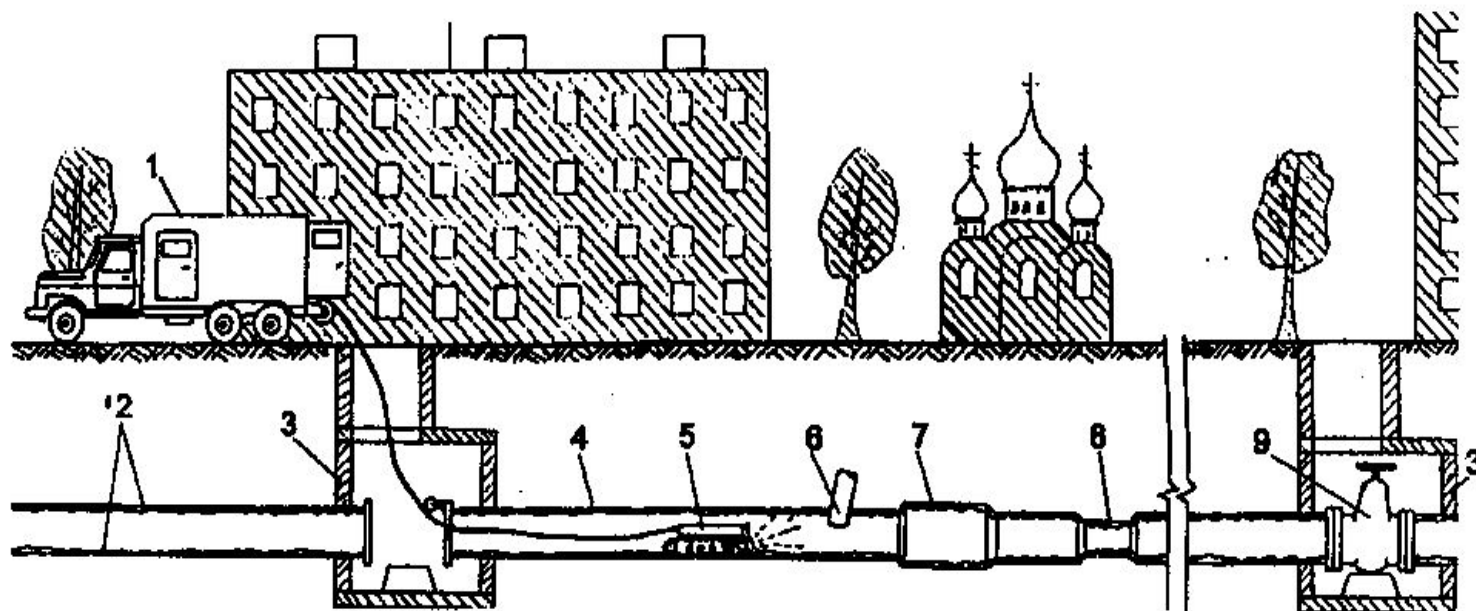


*Структура
роботов и
мехатронных машин*





**Мобильные технологические
роботы для инспекции и ремонта
подземных трубопроводов
(новые служебные функции
роботов)**



3

Рис. 1. Схема обследования внутреннего состояния трубопровода с помощью инспекционного телеробота

1 – передвижная (автомобильная) телеинспекция для приёма сигналов и управления телероботом; 2 – коррозионные отложения; 3 – колодец; 4 – обследуемый участок трубопровода; 5 – телевизионная самоходная камера (теле-робот); 6 – врезка в трубопровод; 7 – участок трубопровода с увеличением диаметра; 8 – участок трубопровода с уменьшением диаметра; 9 – задвижка.

НАЗНАЧЕНИЕ:

- телеинспекция магистралей для предупреждения техногенных и экологических аварий и катастроф, контроль за состоянием действующих трубопроводов
- внедрение бестраншейных («анти - диггерных») методов мониторинга и ремонта, проведение операций в недоступных и опасных для человека зонах, установка бандажей
- реновация и санация ветхих магистралей, в том числе по прогрессивной технологии релайнинга (восстановление трубопровода протяжкой полиэтилена) с предварительной механической обработкой внутренней поверхности трубы
- экологический мониторинг подземных сетей
- составление карт подземных коммуникаций

Видео ТАРИС!

Вариант автомобильной или переносной системы телеинспекции с кабельным барабаном (длина кабеля до 300м)



<http://www.taris.ru>

Плавающий модуль для трубопроводов

Назначение: видеодиагностика (телеинспекция) частично заполненных трубопроводов и коллекторов диаметром от 450 мм (минимальный проходной диаметр 450 мм).

Отличительные особенности:

- Стабилизация – плавающий модуль возвращается в вертикальное положение при опрокидывании
- Защита дна пластинами из нержавеющей стали
- Защита корпуса трубками из нержавеющей стали

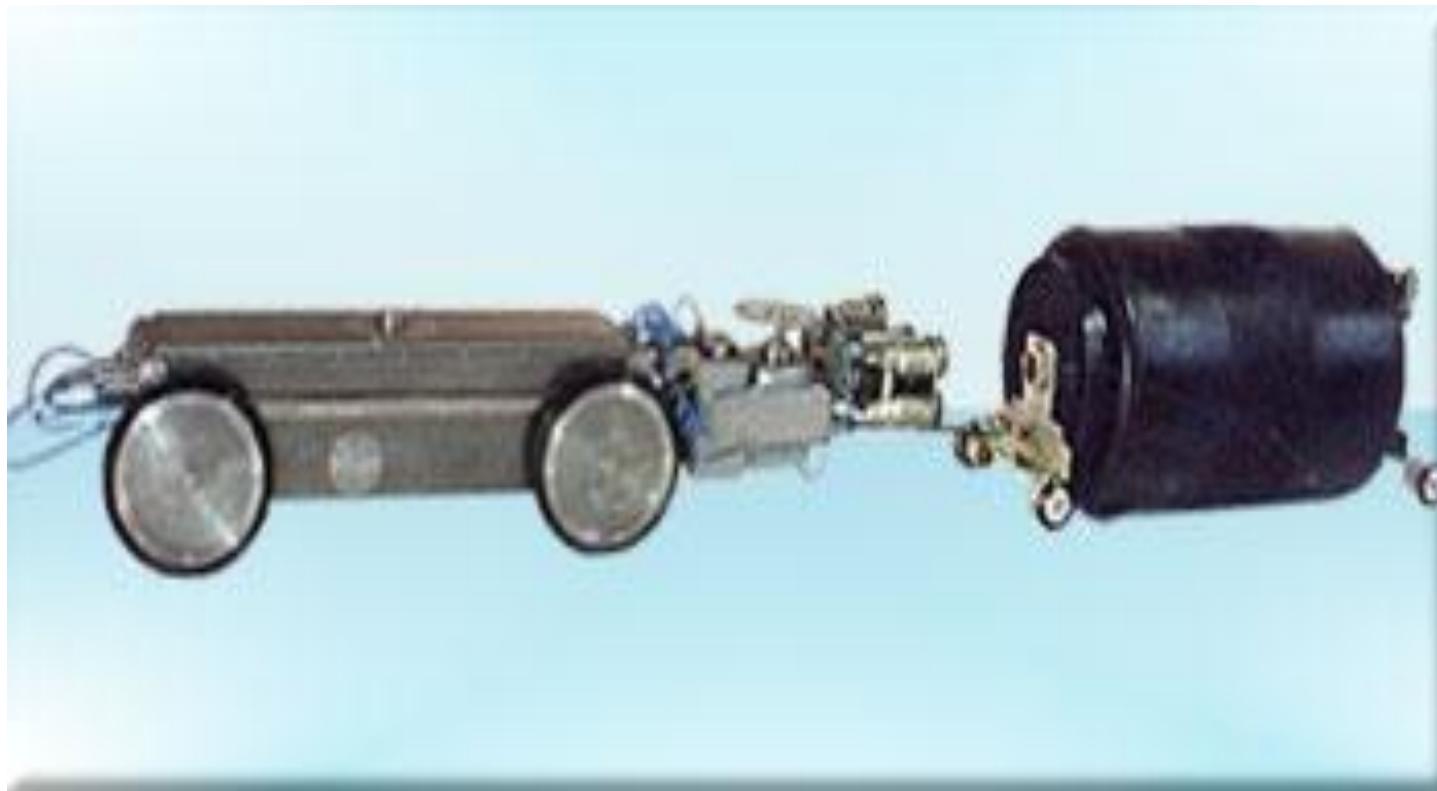
Состав:

- Коммутационная коробка, заполняемая сухим азотом
- Цветная поворотная видеокамера с zoom
- Система дополнительного освещения



<http://www.taris.ru>

Пневматический пакер для установки ремонтных бандажей



<http://www.taris.ru>



Устанавливаемый **бандаж** состоит из металлической обечайки и слоя ткани, пропитанной полимером. Под действием давления, подаваемого по шлангам, пакер раздувается и прижимает обечайку с полимером к стенкам трубы. Применяются обечайки из нержавеющей стали или из углеродистой стали. Вместо ткани с полимером в качестве материала для герметизации дефекта может применяться слой резины

<http://www.taris.ru>

Робототехнический комплекс С-200

Стрелками на схеме обозначены:

A - перемещение робота за счет колесного привода, скорость от 0 до 0,2 м/с.

B - выдвижение упора, усилие 500 Н.

C - выдвижение рабочего органа, ход 100 мм, усилие 500 Н.

D - поперечная подача шпинделя, ход 50 мм, усилие 500 Н.

E - ротация рабочего органа, угол $\pm 180^\circ$, момент 50 Нм.

F - качание видеокамеры, угол качания $\pm 140^\circ$.

G - стеклоочиститель видеокамеры.

H - вращение шпинделя с инструментом.



<http://www.taris.ru>

(видео !!!)

Военные роботы России

(новые служебные функции роботов)

**Видео:
Уран – 9
Нерехта**

Робототехнический комплекс "Уран-6"

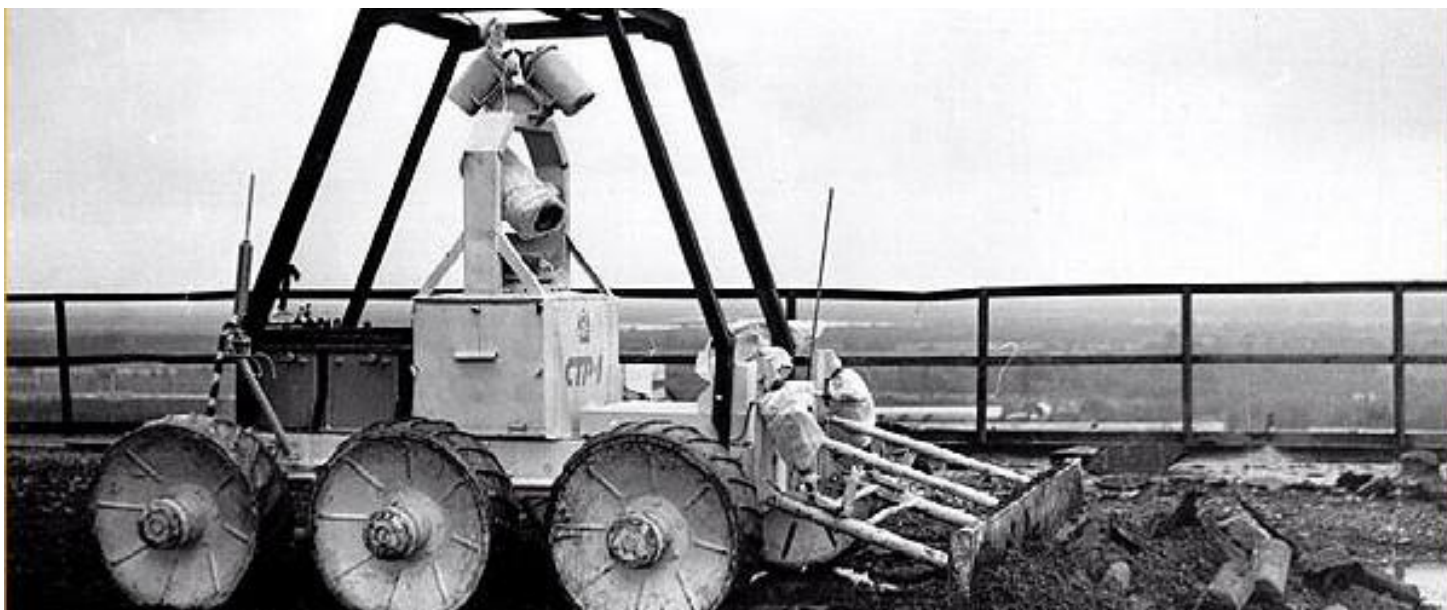
Источник: Анатолий Соколов / ИА "Оружие России"

http://vprk.name/news/169680_rossiya_zadeistvuet_robotov_v_operacii_po_razminirovaniyu_aleppo.html



**Мобильные роботы для работы в
средах радиоактивного загрязнения
(новые служебные функции
роботов)**

Роботы на ликвидации последствий аварии на ЧАЭС



Специализированный транспортный робот (СТР-1)
<http://chornobyl.in.ua/robot-str.html>

Роботы на ликвидации последствий аварии на ЧАЭС



Специализированный транспортный робот (СТР-1)

<http://chornobyl.in.ua/robot-str.html>

Видео ВНИИА-ИТУЦР!

Современный российский робототехнический комплекс разведки

Состав РТК:

1. Базовое транспортное средство

2. Навесное оборудование:

Манипулятор

Гамма-локатор с блоком детектирования гамма-излучения

Лазерный дальномер

Измеритель температуры и влажности внешней среды

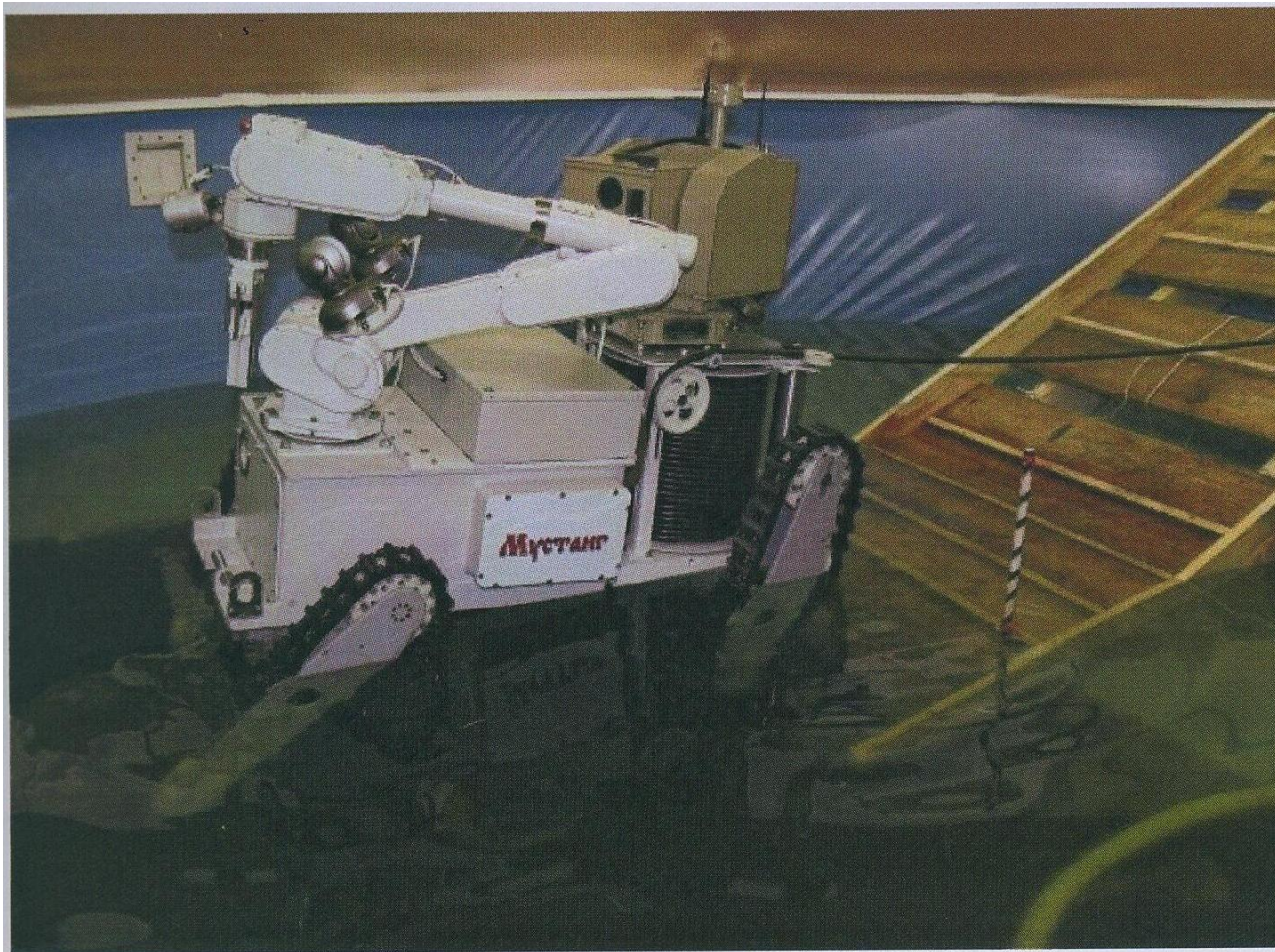
Пробоотборник грунта

Измеритель напряженности электрического поля

3. Пост управления

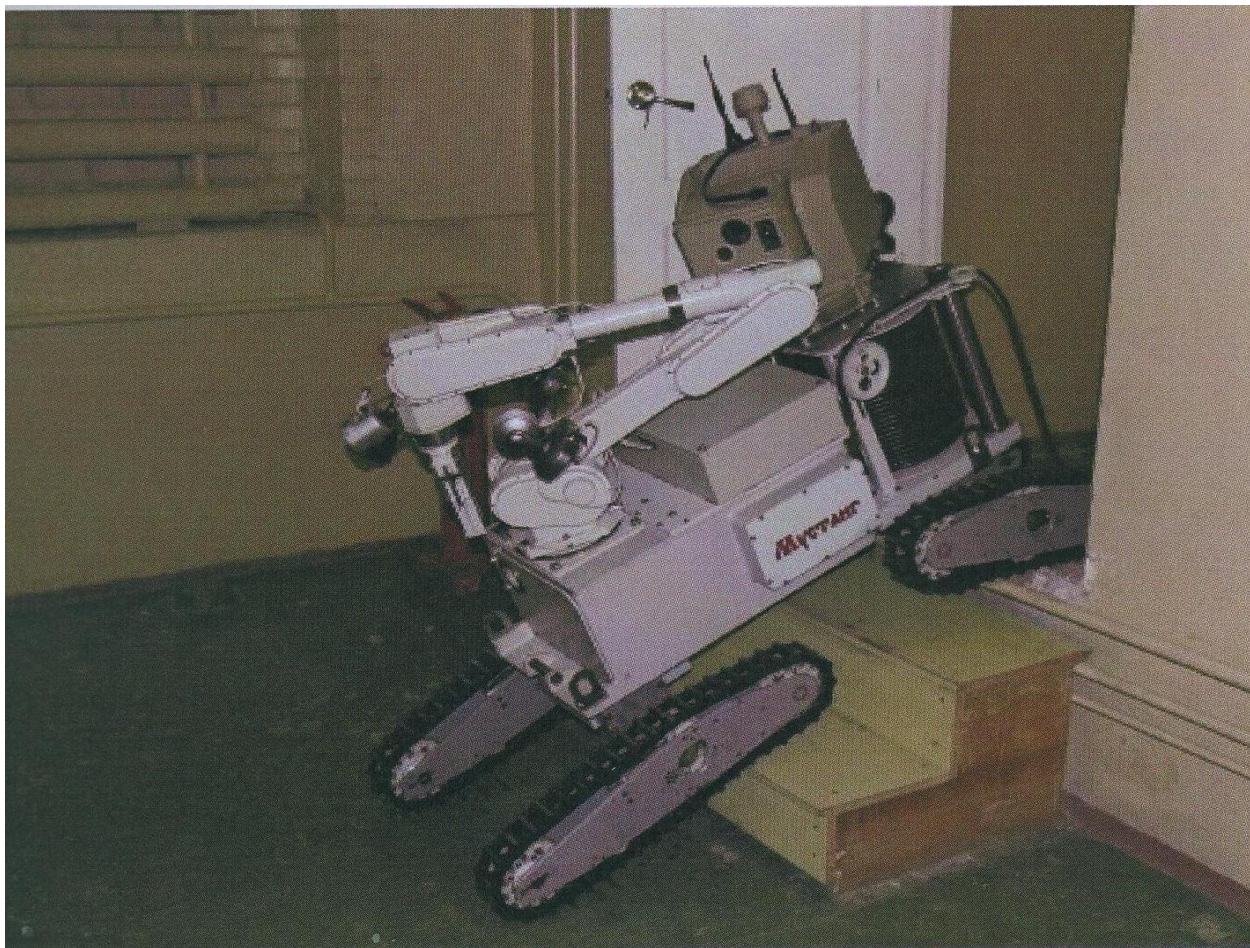
**ФГУП «Аварийно-технический центр Минатома России.
Инженерно-технический и учебный центр робототехники**

Робототехнический комплекс разведки. Преодоление водной преграды



**ФГУП «Аварийно-технический центр Минатома России.
Инженерно-технический и учебный центр робототехники**

Робототехнический комплекс разведки. Преодоление лестницы и дверного проема



**ФГУП «Аварийно-технический центр Минатома России.
Инженерно-технический и учебный центр робототехники**

Дезактивация автотранспорта РТК МРК-27МА



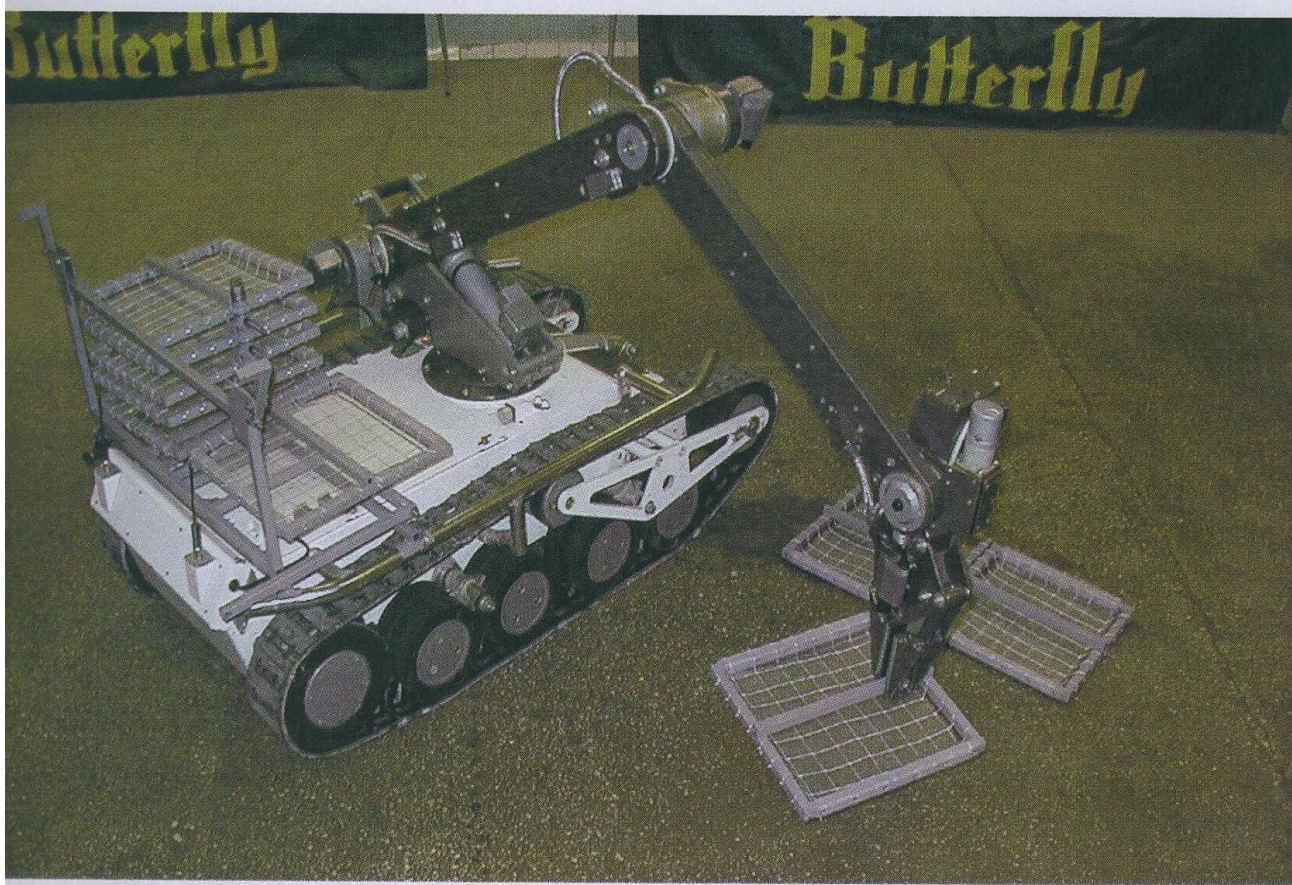
**ФГУП «Аварийно-технический центр Минатома России.
Инженерно-технический и учебный центр робототехники**

Радиационная разведка зоны инцидента гамма - локатором



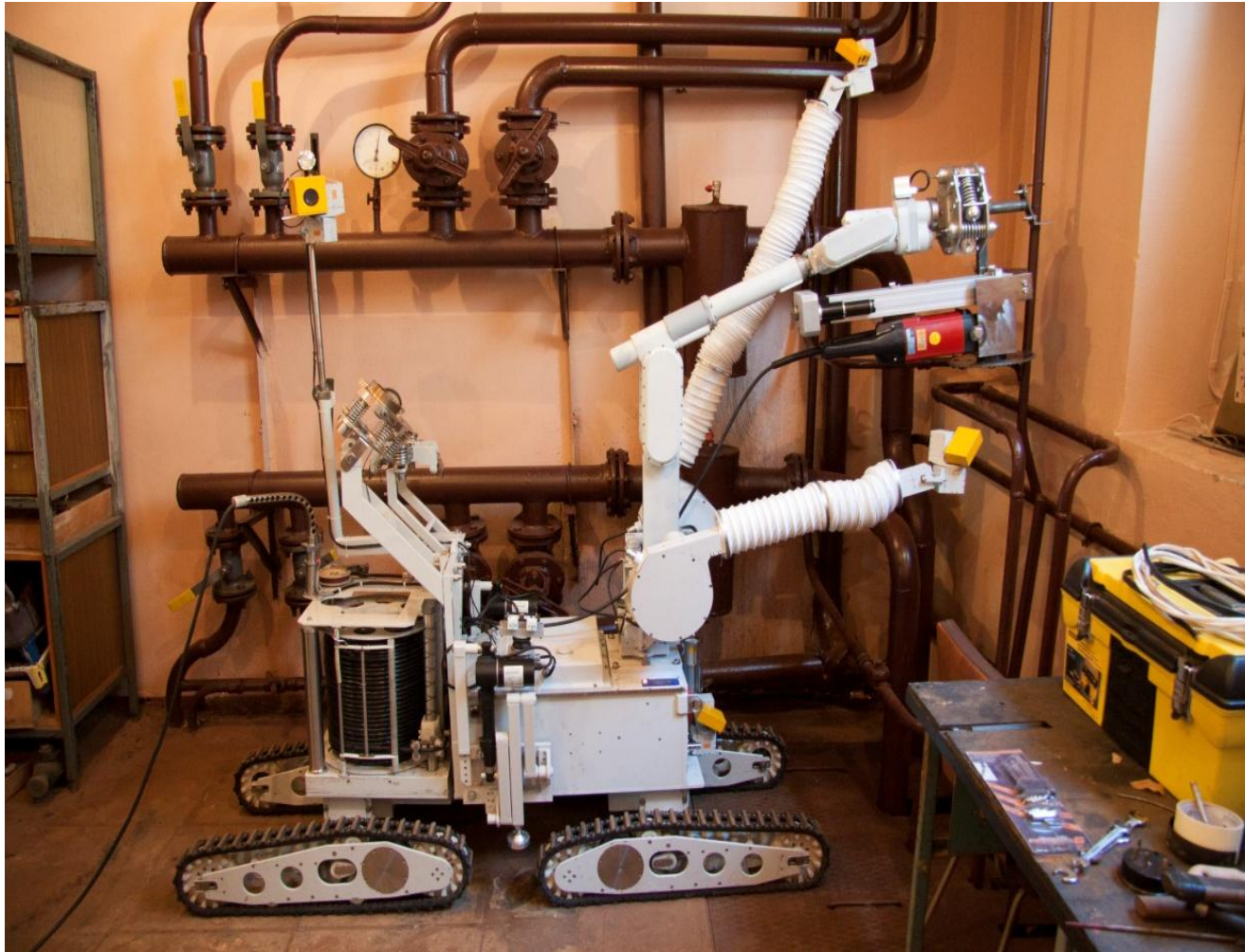
**ФГУП «Аварийно-технический центр Минатома России.
Инженерно-технический и учебный центр робототехники**

Укладка дезактивирующих захватов на просыпь



**ФГУП «Аварийно-технический центр Минатома России.
Инженерно-технический и учебный центр робототехники**

Робот РТК-М на операции демонтажа трубопровода



Видео!!

**ФГУП «Аварийно-технический центр Минатома России.
Инженерно-технический и учебный центр робототехники**

Робототехника для банковского сектора (новые служебные функции роботов)

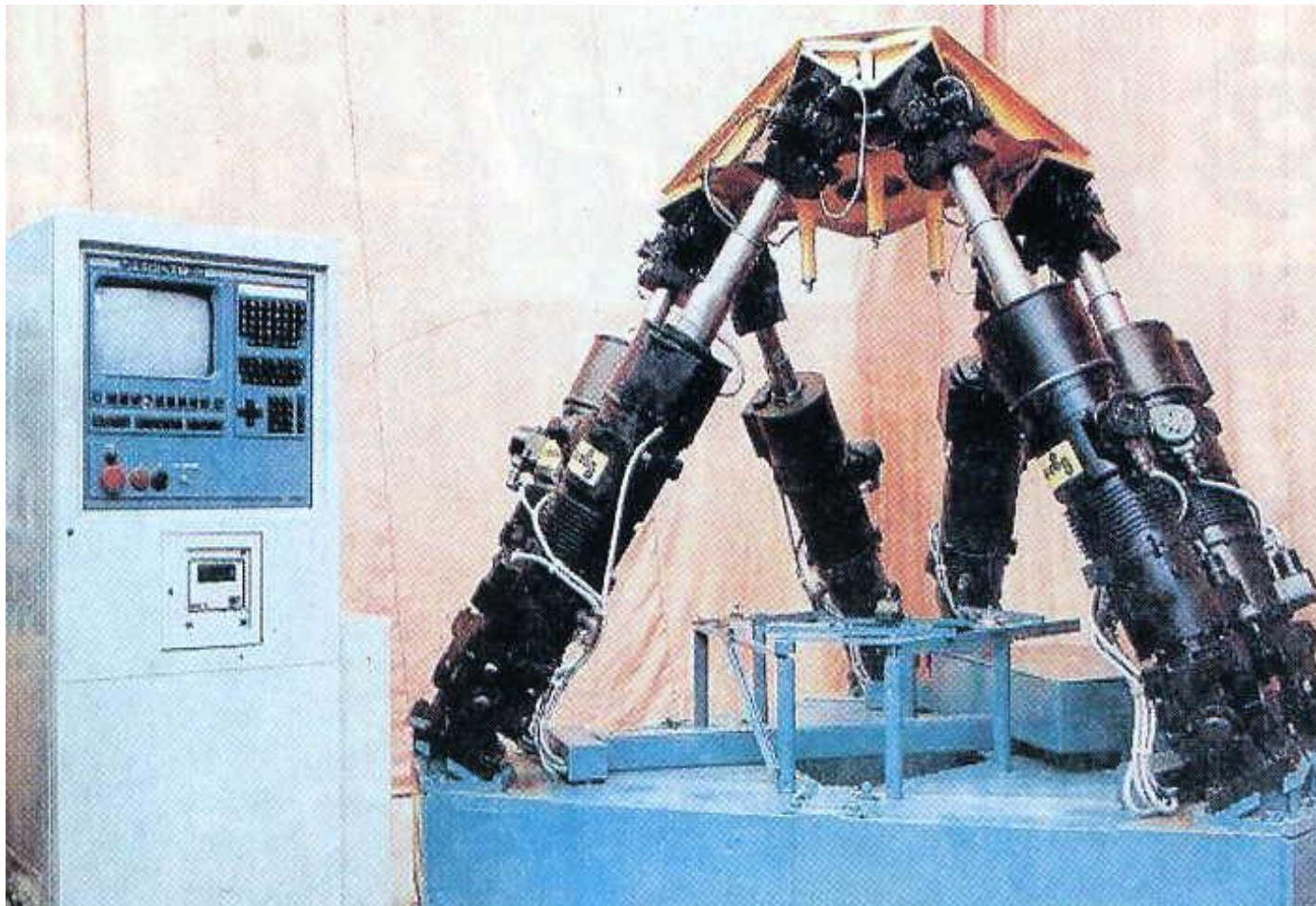
АО «Квантум Системс»

www.quatumspace.ru

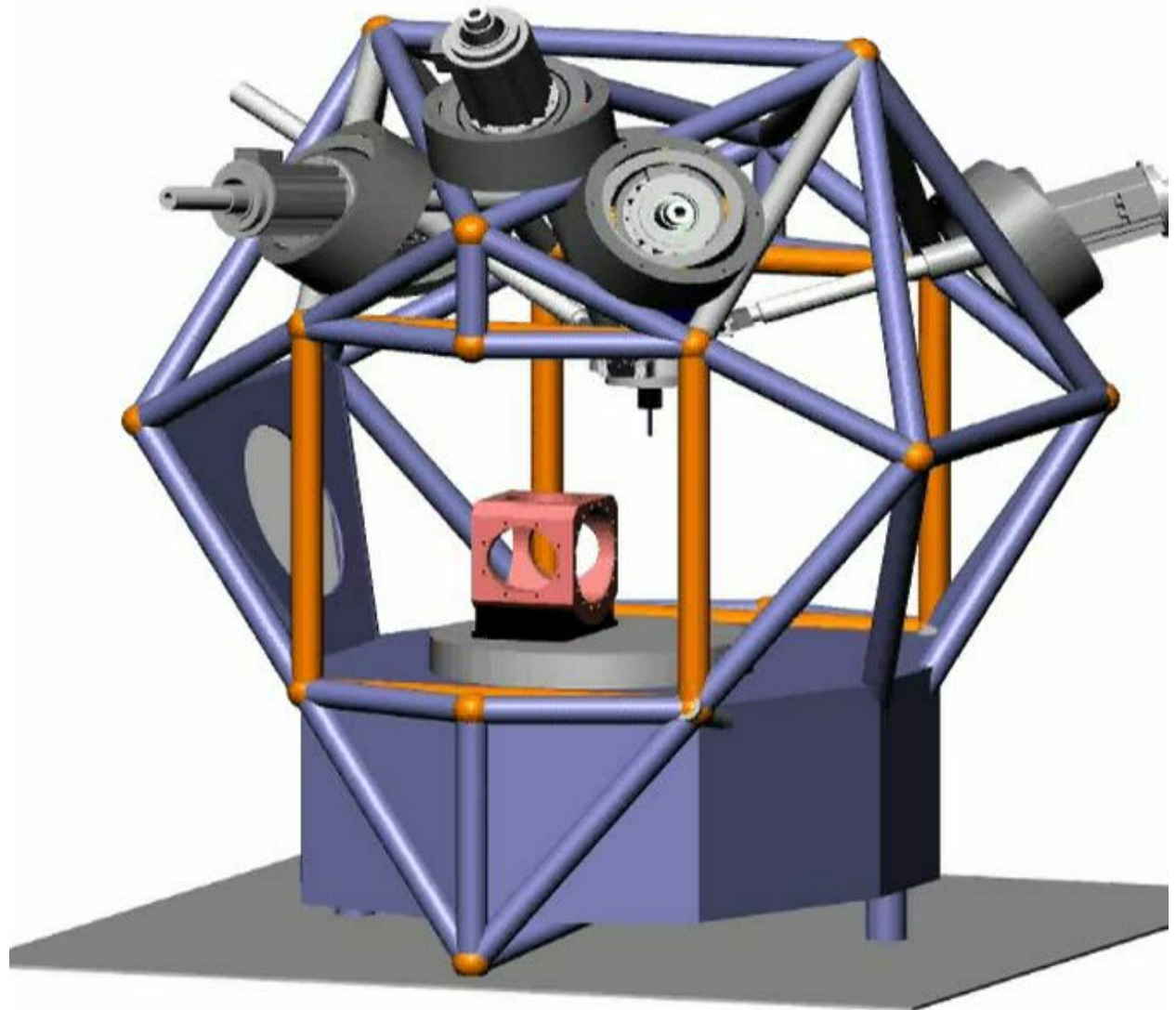
Видео!

Машины с параллельной структурой

Первый отечественный гексапод (Новосибирск, 1984)



Pentapod - Structure



Highly dynamic precision with
5 rotary direct drives

Minimized vibrations due to
low mass movements

Fast acceleration

Modular conception allows
fast solution according to
specific customer
requirements

ВИДЕО!!!

**Технологический комплекс «HexaBend»
(Институт станков и прессов IWU, Кемниц, Германия)**



Машины с гибридной структурой
Технологический комплекс «Дународ»
(Институт станков и прессов IWU, Кемниц, Германия)



*Методы автоматического
управления и Поколения роботов*

□ Программное управление (Первое поколение)

- Позиционное управление
- Контурное управление
- Траекторное управление

Роботы первого поколения функционируют по заданной программе движения , которая не может быть изменена в процессе выполнения операции

□ Адаптивное управление (Второе поколение)

Программа движения автоматически формируется в процессе выполнения операции, адаптируясь к изменениям в состоянии самого робота, объектов работ и внешней среды

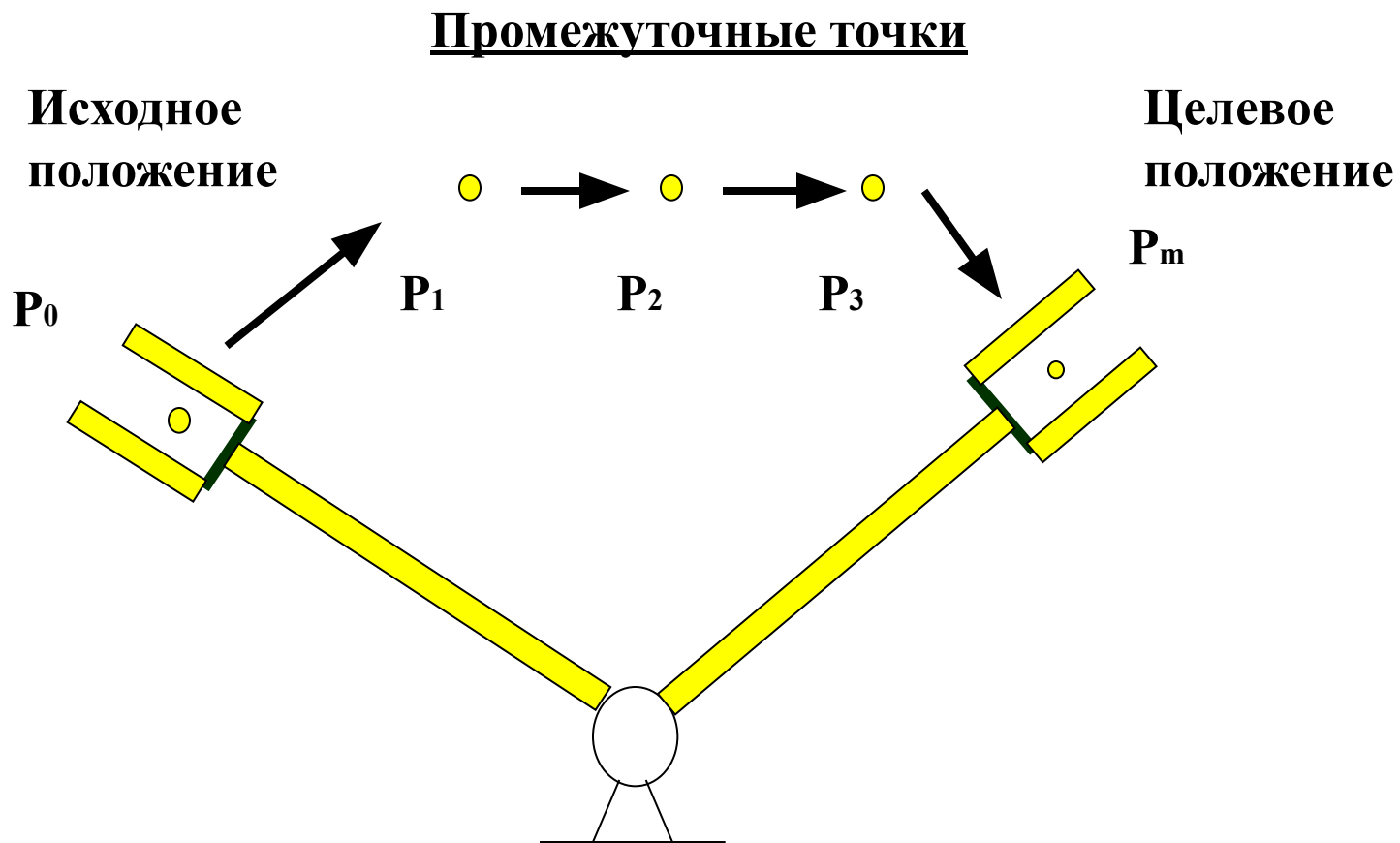
□ Интеллектуальное управление (Третье поколение)

Позиционное управление

Позиционное управление (pose-to-pose control, PTP control):

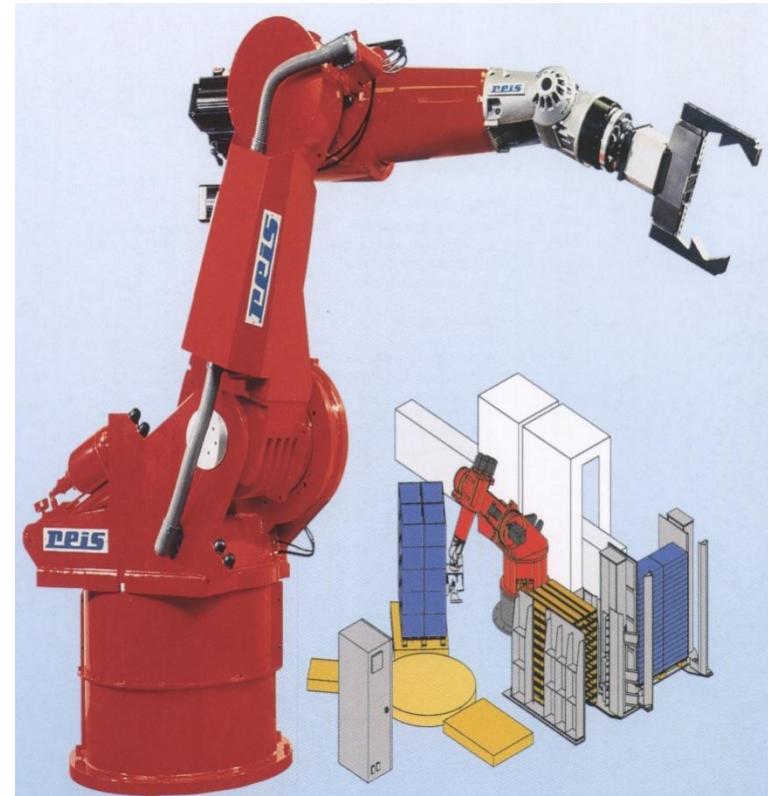
Режим управления, при котором пользователь может устанавливать перемещения **робота** с помощью **заданных пространственных расположений** без определения маршрута перемещения между этими **пространственными расположениями**.

Позиционное управление



Позиционное управление:

роботизированная точечная сварка (COMAU Robot)
загрузка технологического оборудования (REIS Robot)



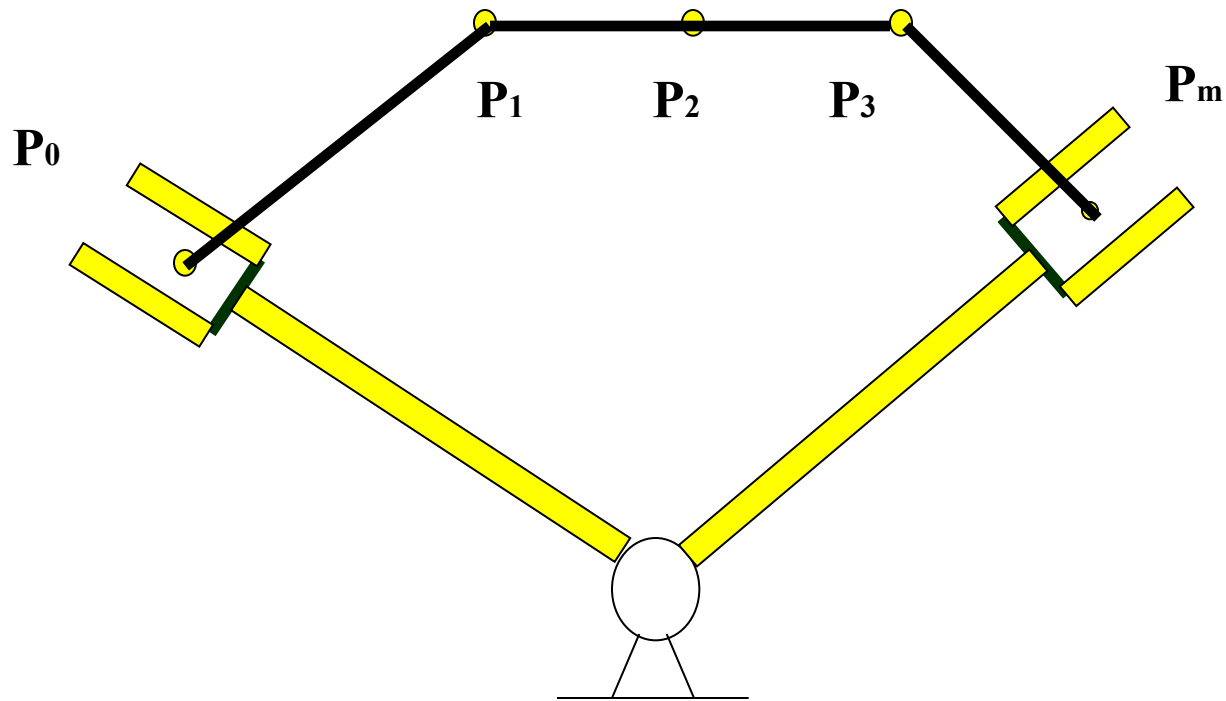
Контурное управление

Контурное управление (continuous path control, CP control):

Режим управления, при котором пользователь может устанавливать маршрут перемещения робота между заданными пространственными расположениями.

Контурное управление

$P_0P_1P_2P_3P_m$ - программная траектория



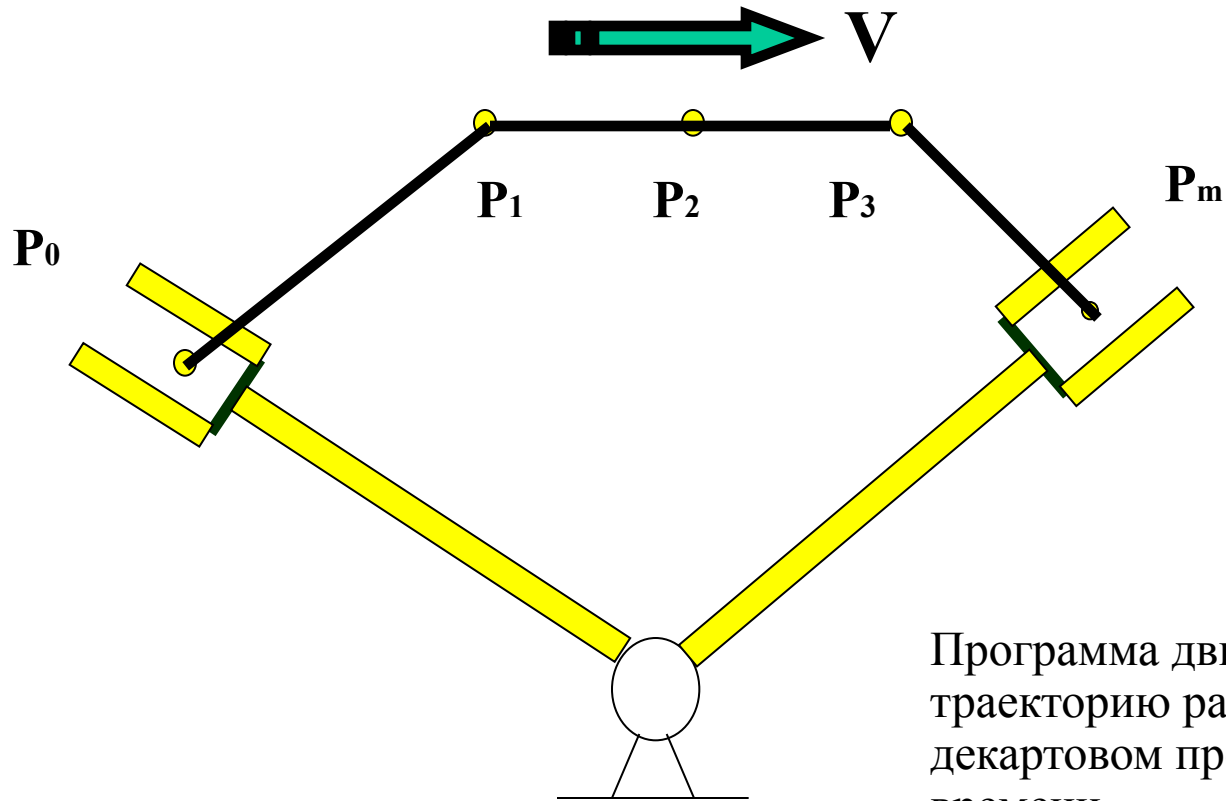
Траекторное управление

Траекторное управление (trajectory control) –
контурное управление с
запрограммированным значением
скоростей перемещения.

Траекторное управление

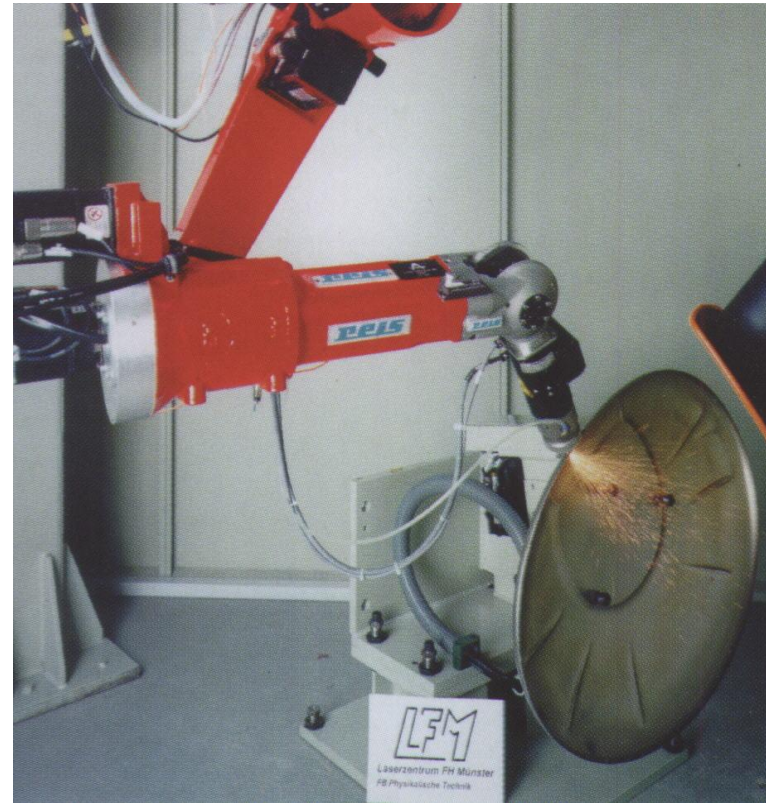
$P_0P_1P_2P_3P_m$ - программная траектория

$V(t)$ – контурная скорость



Программа движения задает траекторию рабочего органа в декартовом пространстве и во времени

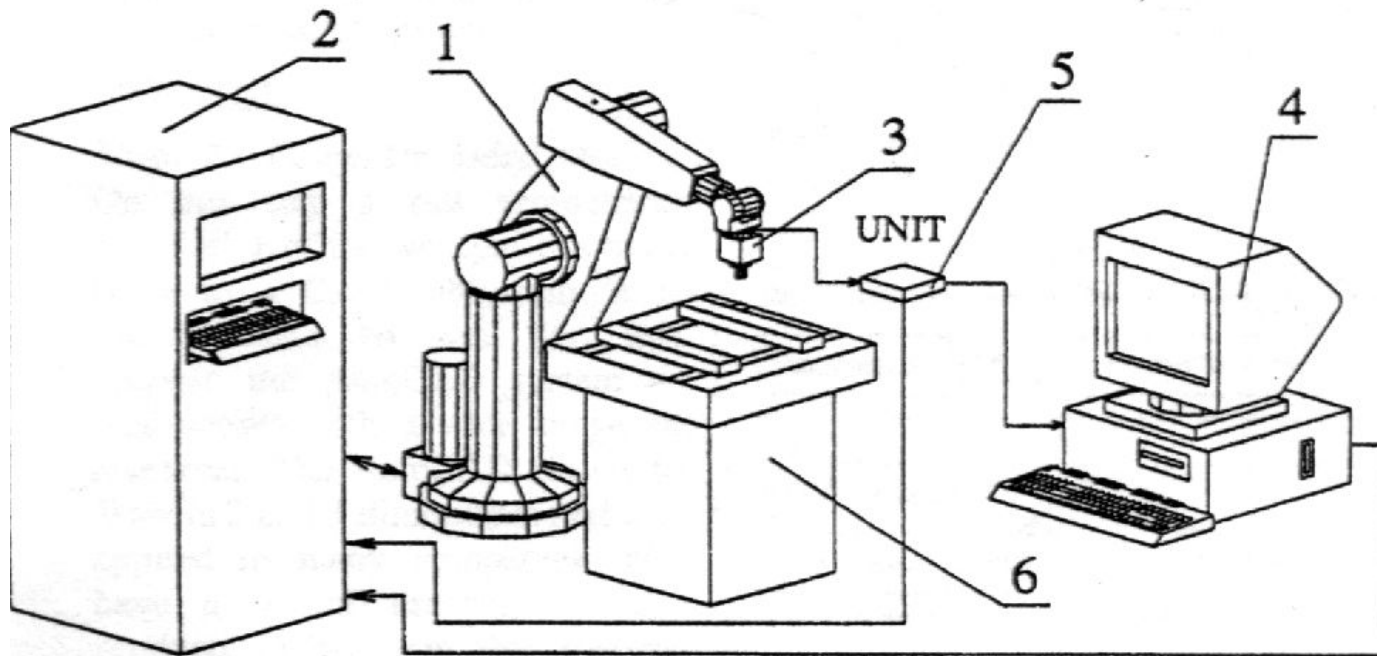
Траекторное управление :
роботизированная окраска (FANUC Robot)
лазерная резка (REIS Robot)



Адаптивное управление

Адаптивное управление (adaptive control):
Режим управления, при котором параметры системы управления настраиваются в зависимости от условий, выявляемых в процессе выполнения задания.

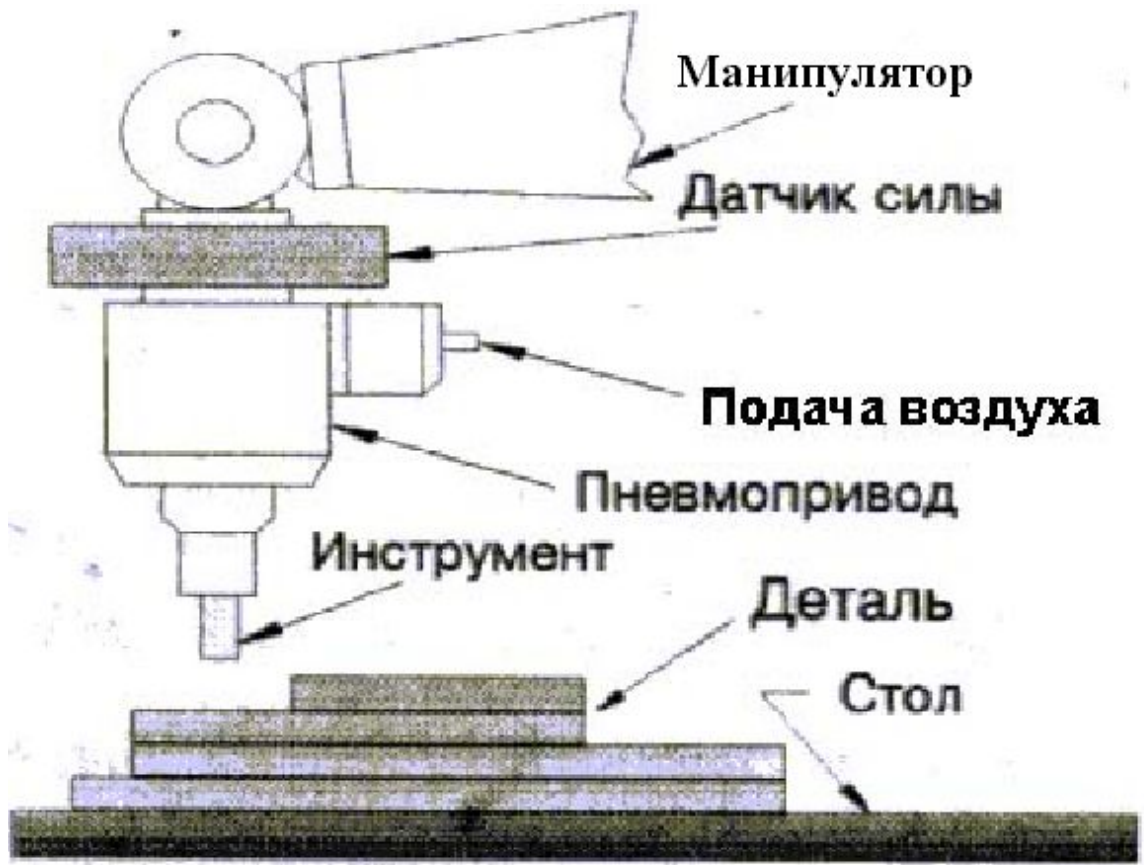
Адаптивное управление: Робототехнологический комплекс (МГТУ Станкин - Будапештский ТУ)



- 1 – манипулятор PUMA-560, 2 – устройство управления Сфера-36,
3 – рабочий орган, 4 – компьютер верхнего уровня управления, 5
– информационное устройство, 6 – стол с заготовкой

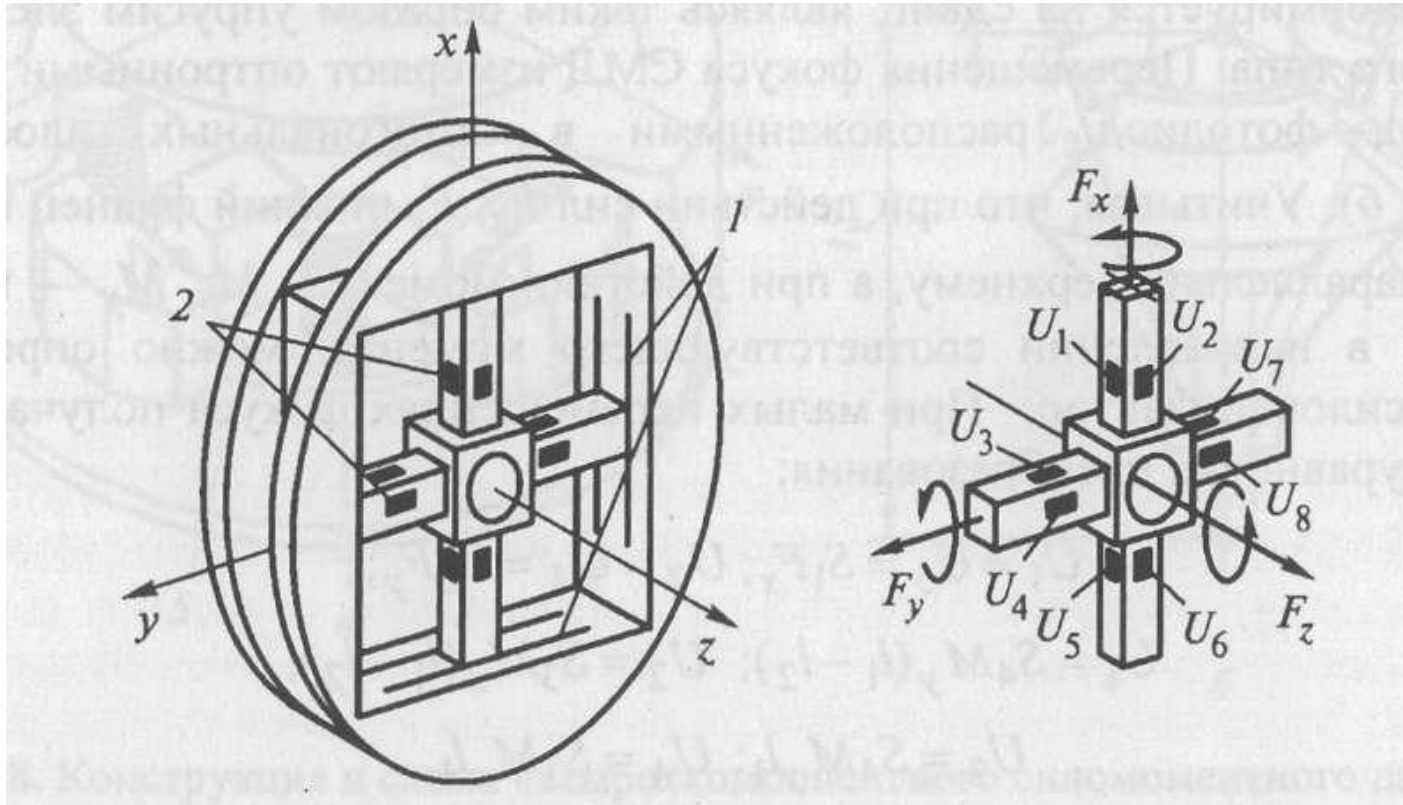
Адаптивное управление

(на основе информации о возмущающем воздействии)



Рабочий орган технологического робота

Конструкция силомоментного датчика



С.А.Воротников Информационные устройства робототехнических систем, Изд-во МГТУ им. Баумана, 2005

Алгоритм адаптивного управления

$$V = \frac{N}{F_{рез}} = \frac{N}{\sqrt{F_{\tau}^2 + F_n^2}}$$

V - контурная скорость рабочего органа

N - заданное значение мощности резания

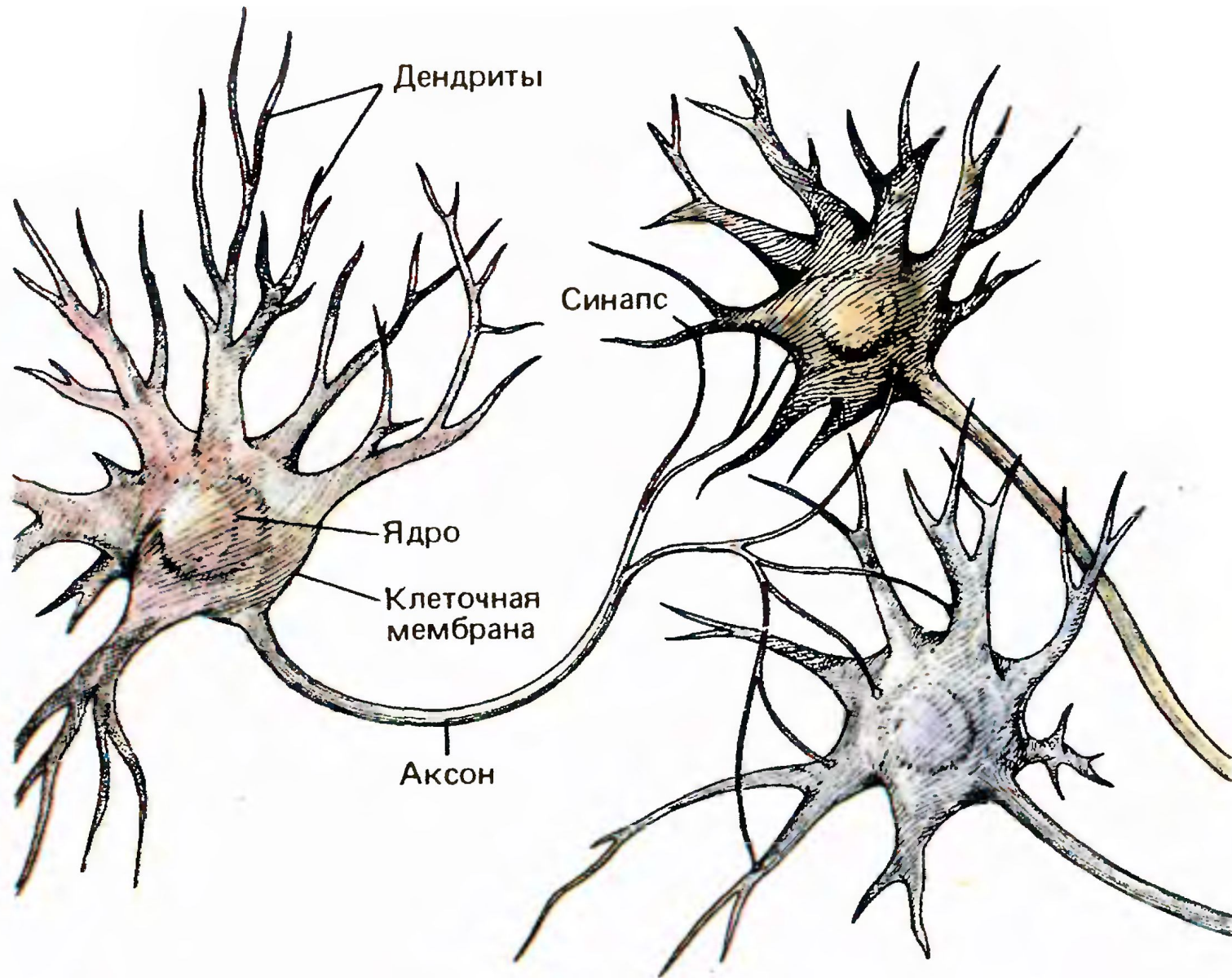
$F_{рез}$ - модуль силы резания

F_{τ} , F_n - тангенциальная и нормальная составляющие силы резания

Методы интеллектуального управления

- Нейронные сети
- Нечеткая логика
- Экспертные системы
- Ассоциативная память

Основные части нервной клетки (нейрона)

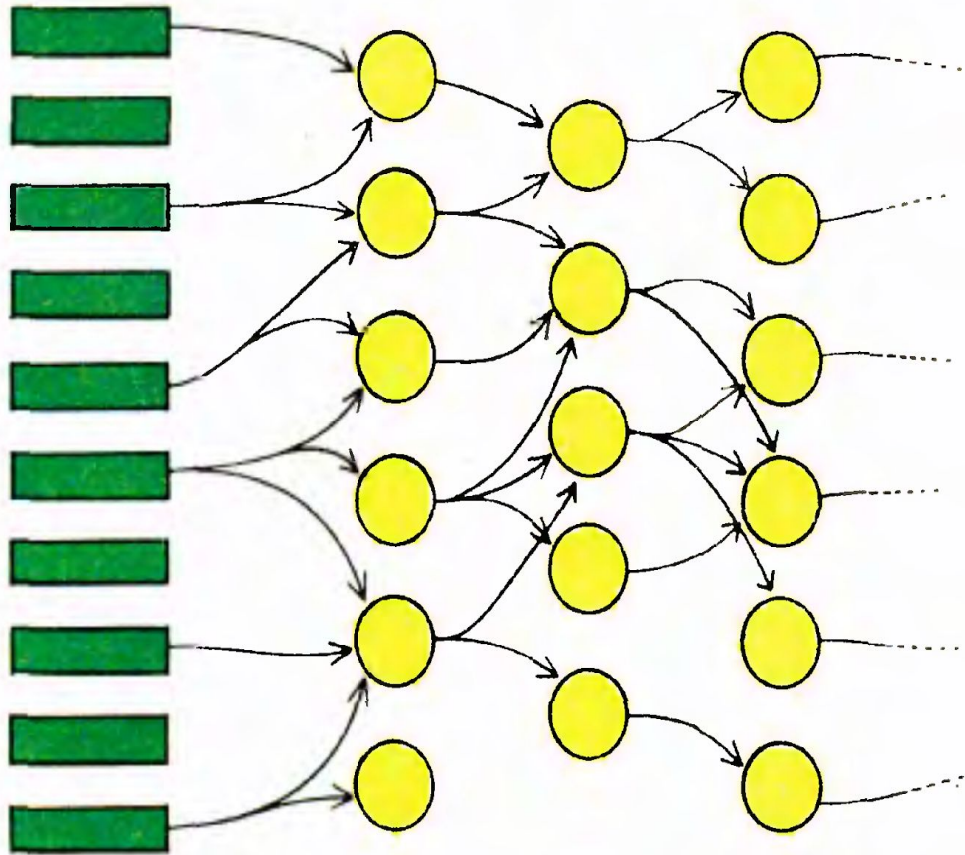


Нейроны головного мозга:

- общее кол-во клеток: 10^{12} (миллион миллионов)**
- каждый нейрон связан от сотни до тысячи других нейронов, т.о. кол-во связей составляет $10^{14} - 10^{15}$**
- длина аксона варьируется от долей миллиметра до метра**
- информация передается от клетки к клетке химическим путем**
- нейроны объединяются в уровни, образующие структуры в виде пластин или сферических ядер**

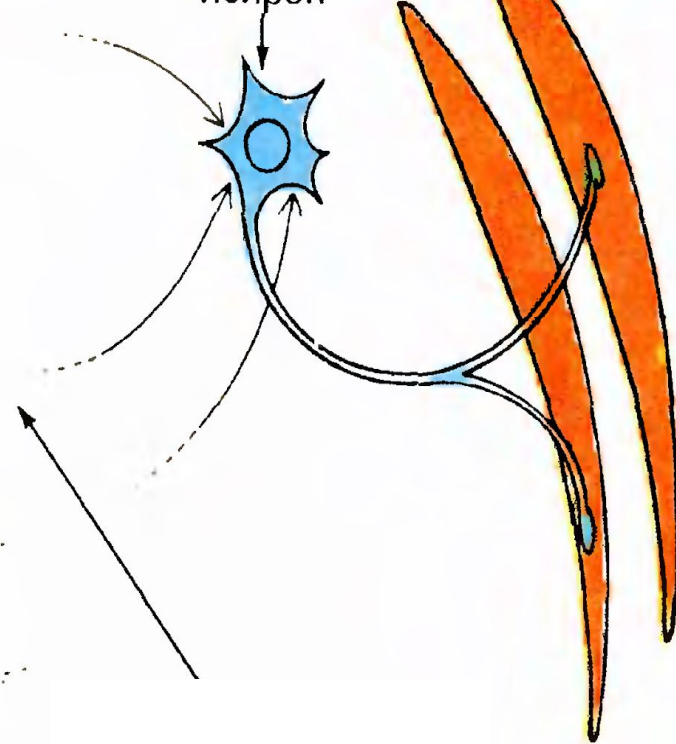
Структура нервной системы

Рецепторы

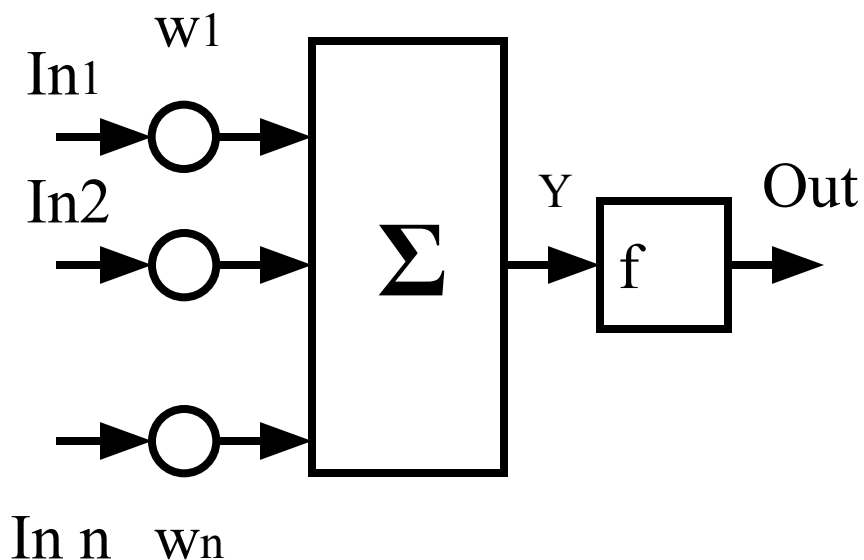


Двигательный
нейрон

Мышечные
клетки



Интеллектуальное управление на основе искусственных нейронных сетей. Математическая модель нейрона



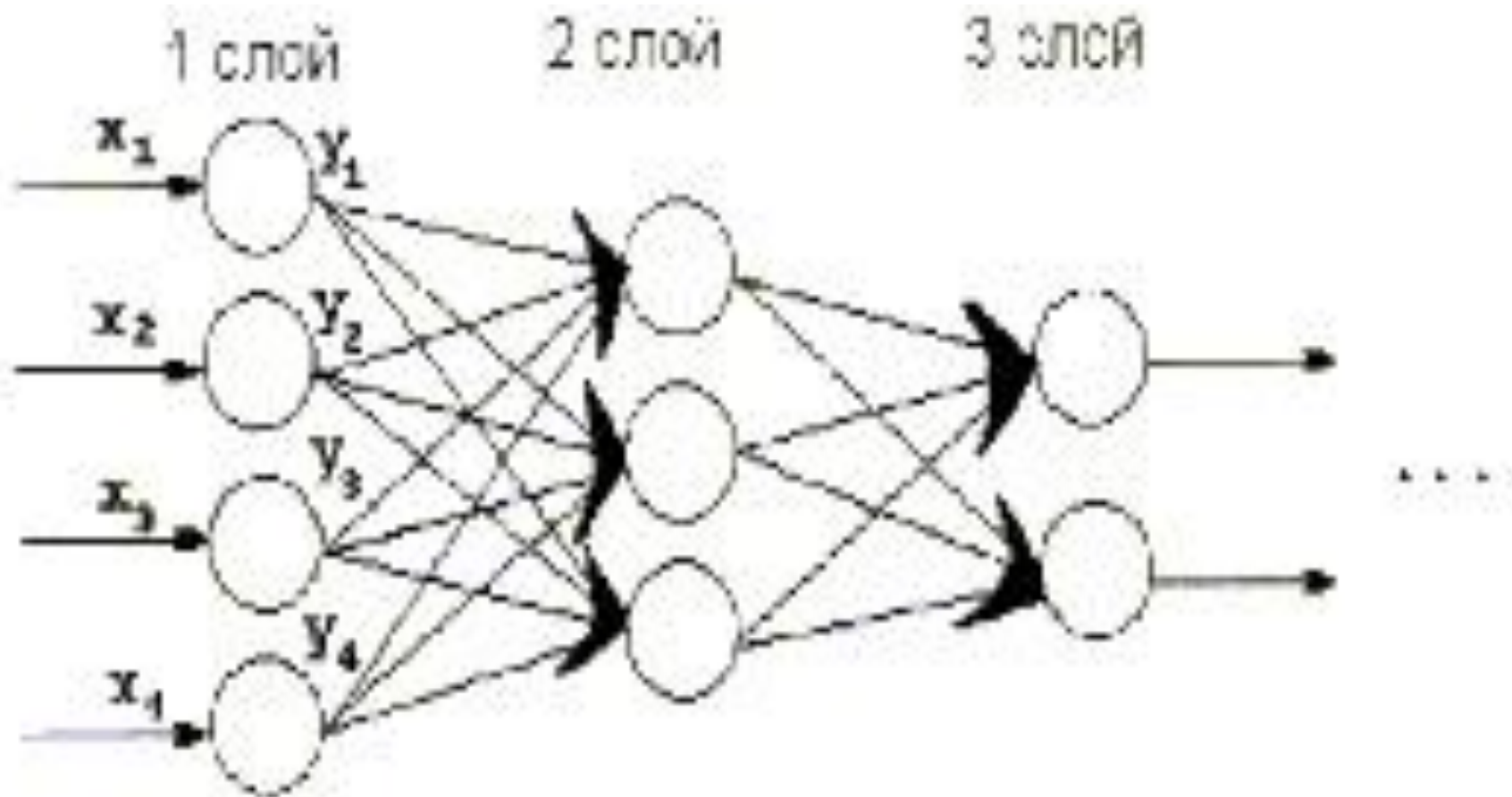
w_1, w_2, \dots, w_n – весовые коэффициенты

$Y = \sum w_i \cdot In_i$ - взвешенная сумма входных сигналов

f - нелинейная функция активации

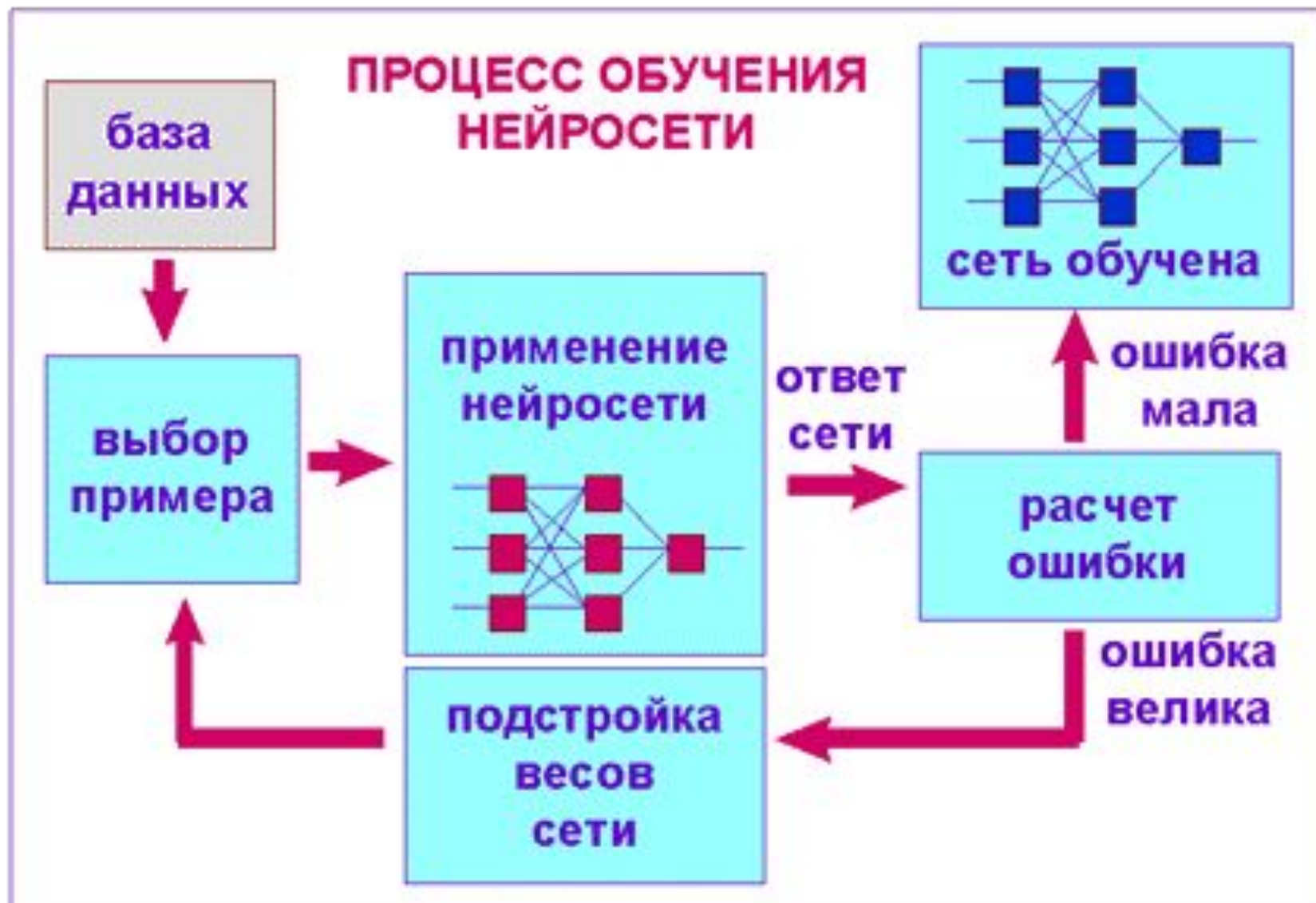
$$Out = f(Y) = 1 / [1 + \exp(-Y)]$$

Структура нейронной сети

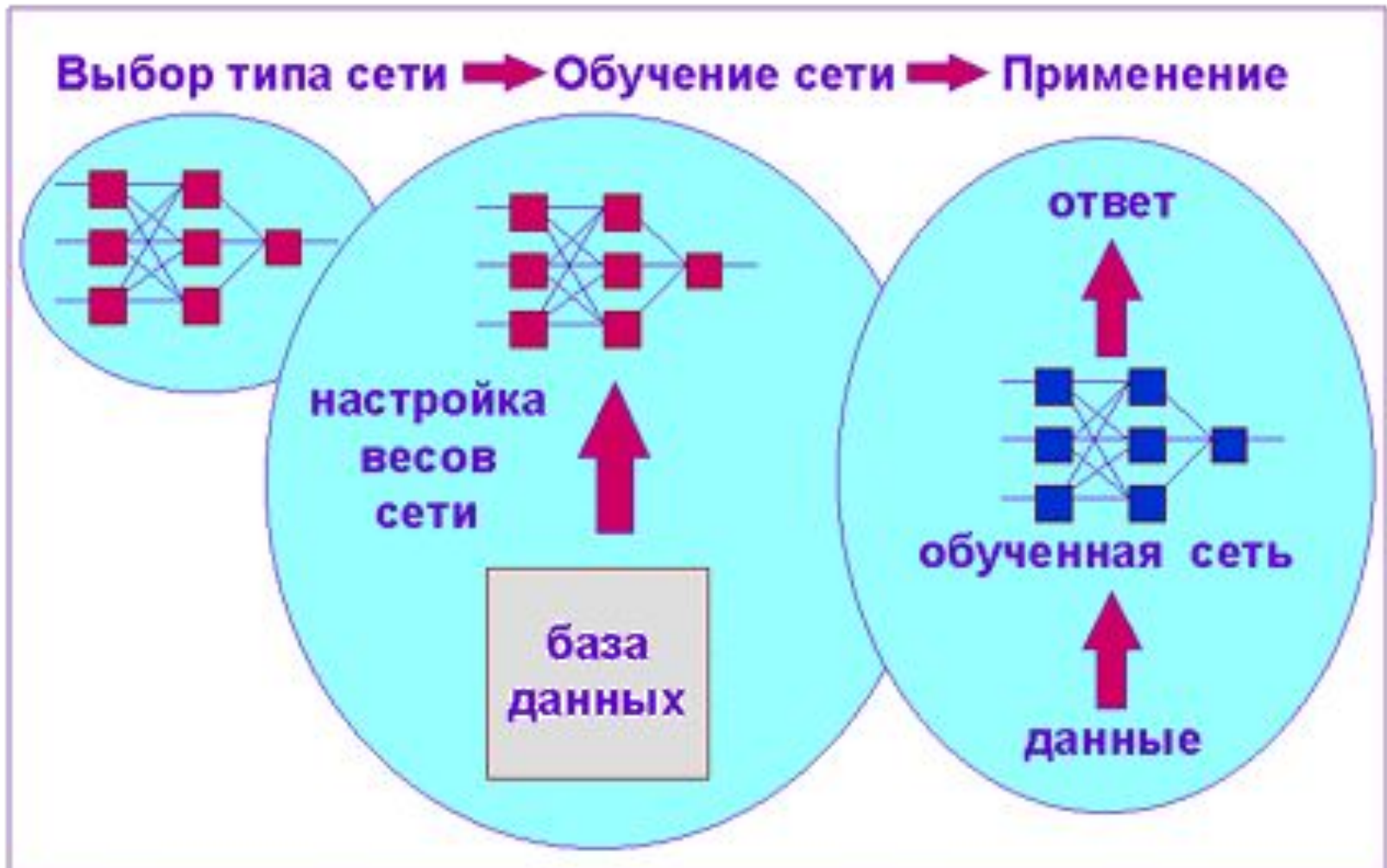


Трехслойная нейронная сеть

Обучение нейронной сети



Применение нейронной сети



Пример применения нейросети в современной робототехнике

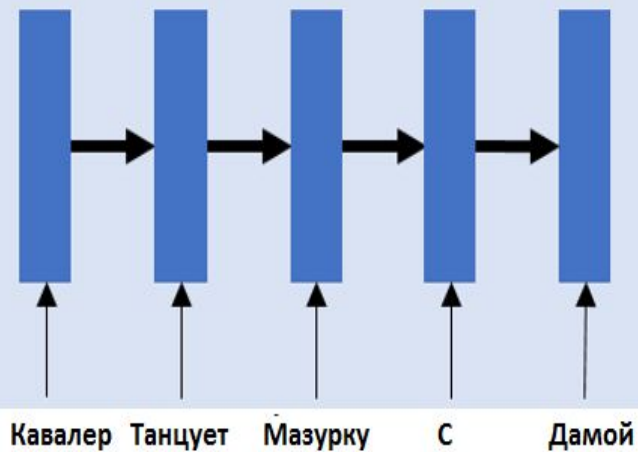
*«От Текстовой Команды к Движению
Робота»*

Hyemin Ahn, Timothy Ha, Yunho Choi, Hwiyeon Yoo, and Songhwa Oh

«Text2Action: Generative Adversarial Synthesis from Language to Action»

arXiv:1710.05298v2 [cs.LG] 24 Oct 2017

Задача нейросети

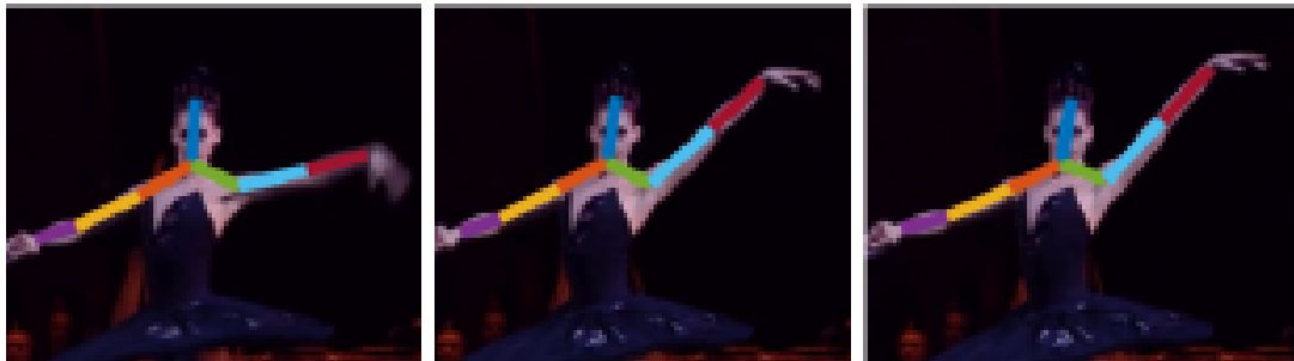
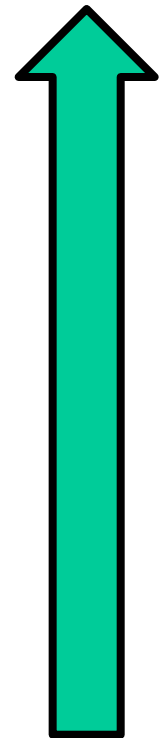
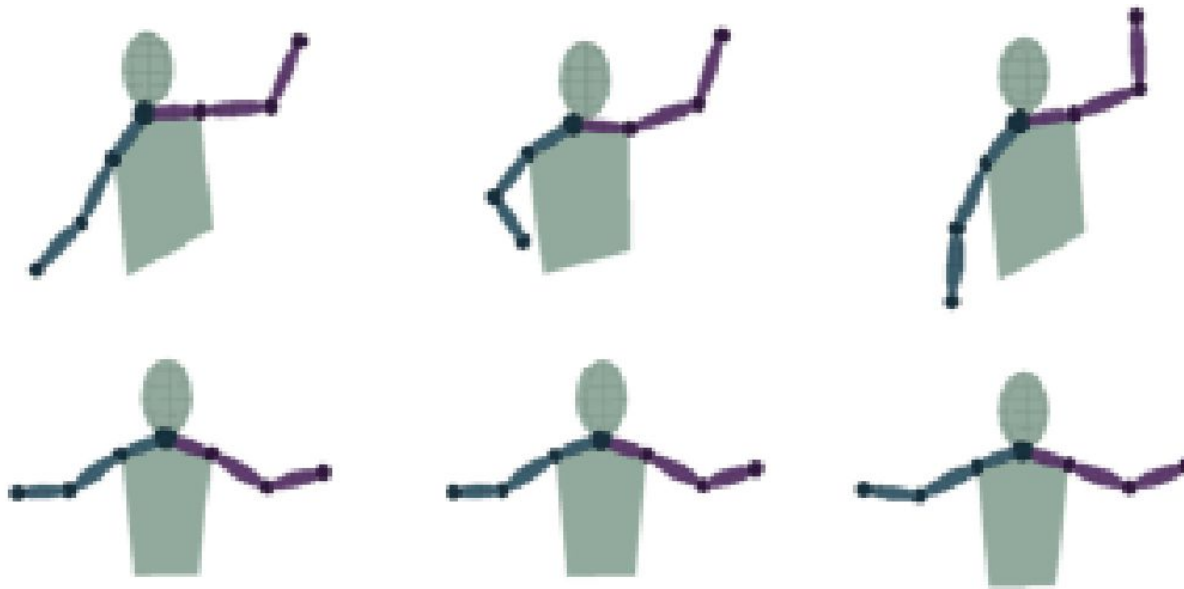


КОДИРОВАНИЕ ТЕКСТА

Нейро
Сеть



Обучение нейросети правильным позам



Программирование движений робота



Frame 1

Frame 2



Frame 5

Frame 6

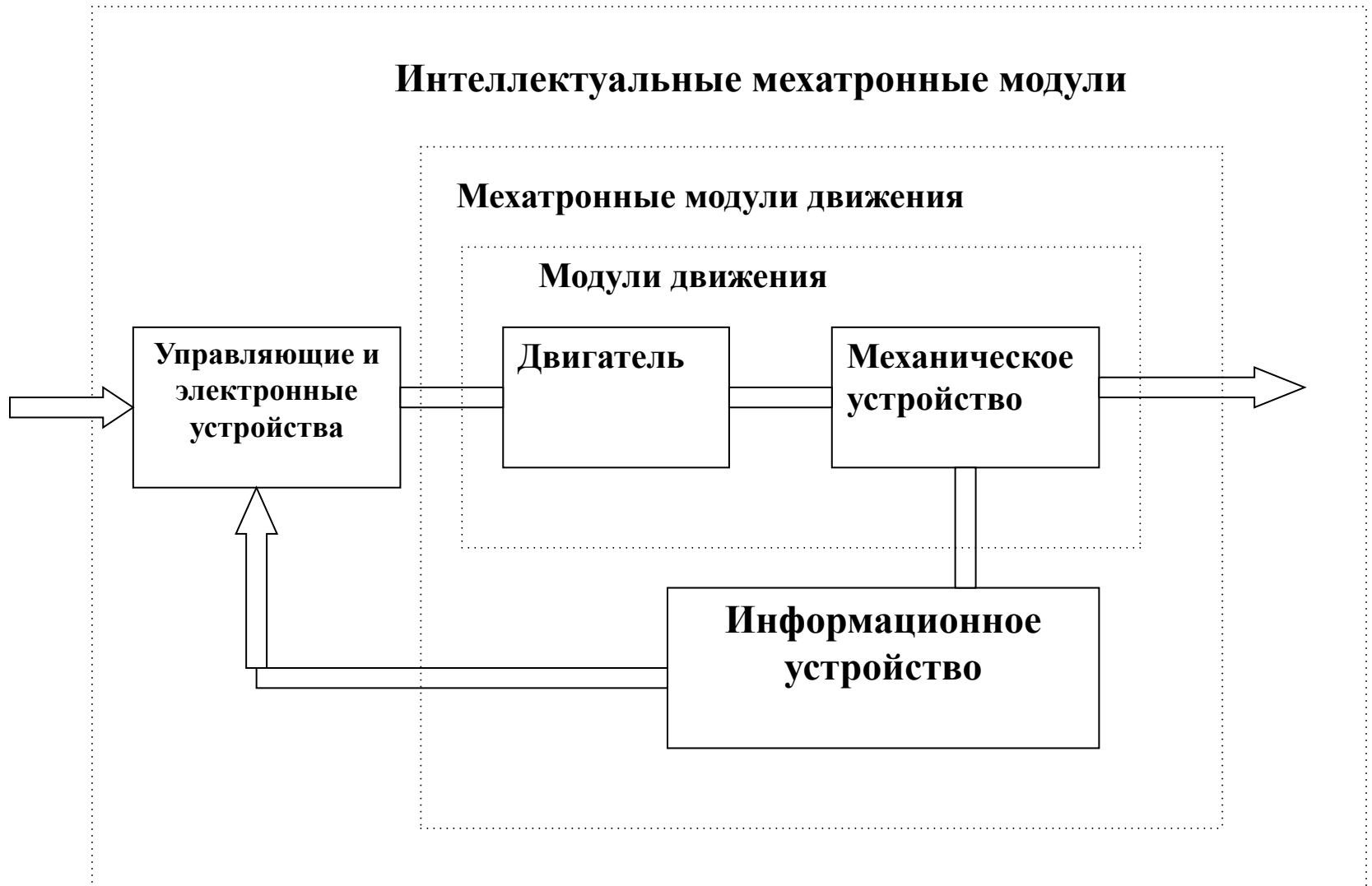
Классификация мехатронных модулей

Модуль движения (МД) – конструктивно и функционально самостоятельное изделие, в котором конструктивно объединены управляемый двигатель и механическое устройство.

Мехатронный модуль движения (ММД) – конструктивно и функционально самостоятельное изделие, включающее в себя управляемый двигатель, механическое и информационное устройства.

Интеллектуальный мехатронный модуль (ИММ) – конструктивно и функционально самостоятельное изделие, построенное путем синергетической интеграции двигательной механической, информационной, электронной и управляющей частей.

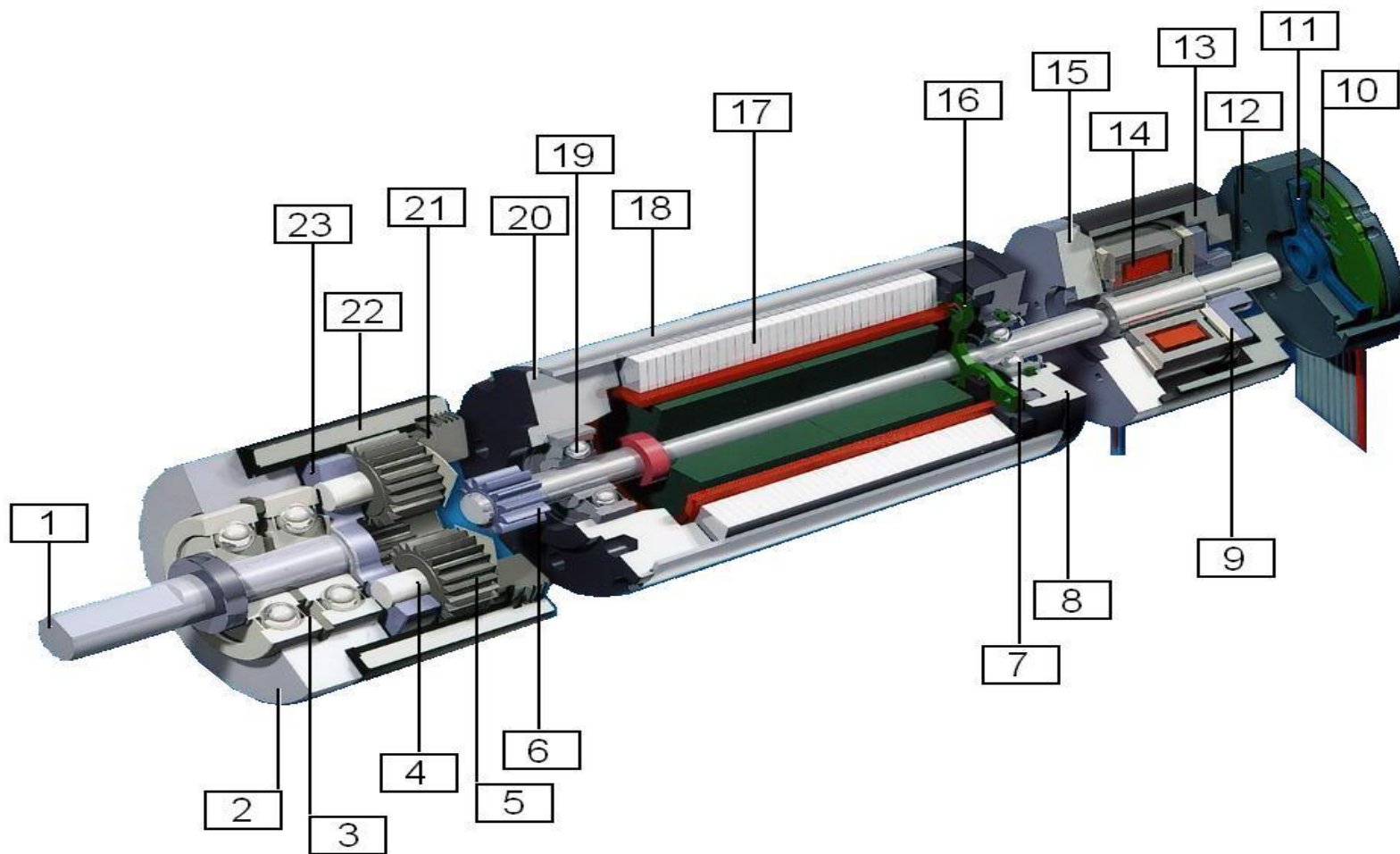
Классификация мехатронных модулей



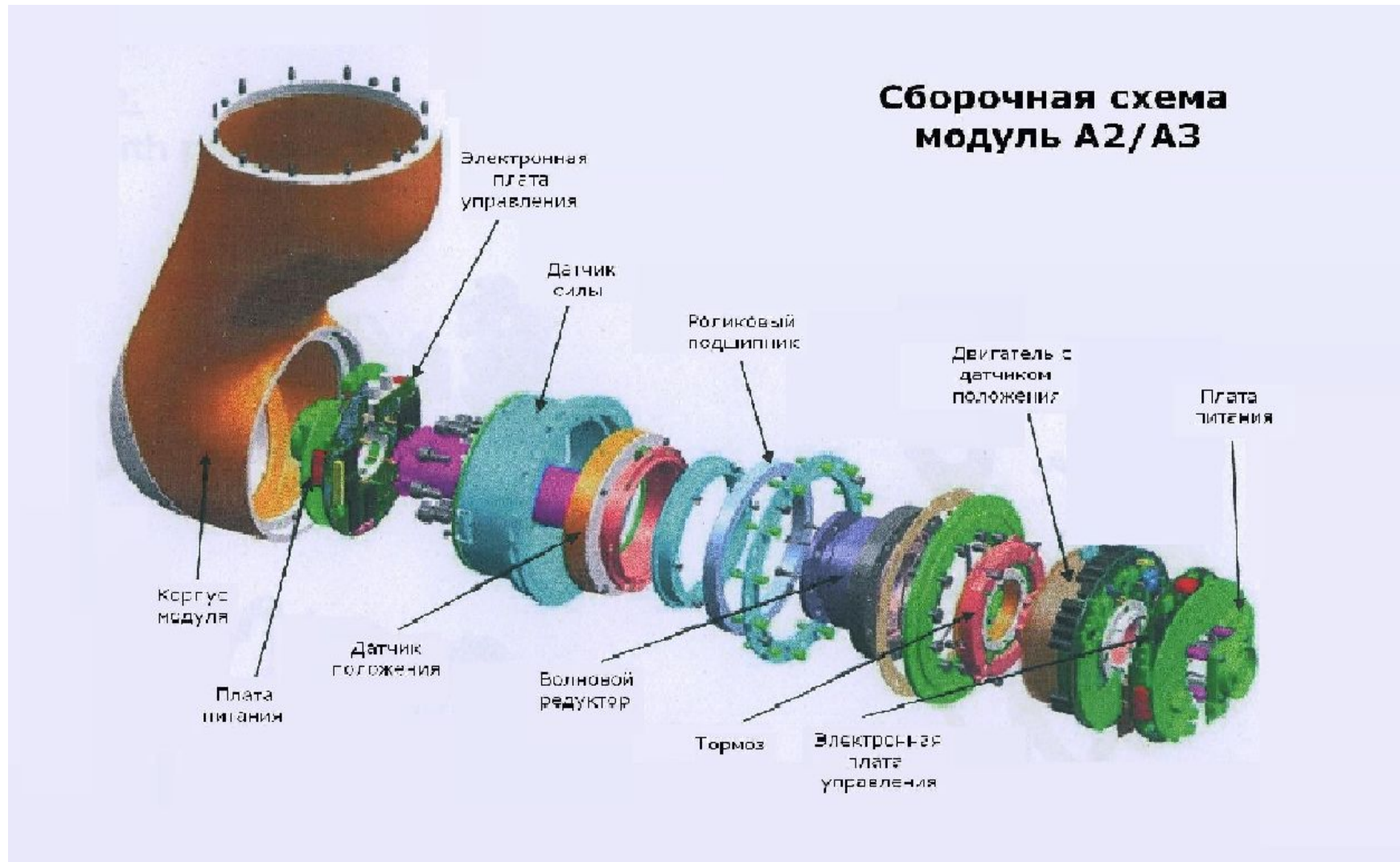
Модули движения: моторы-редукторы на базе асинхронных двигателей (фирма Dunkermotoren)



Мехатронный модуль движения (фирма Maxon)

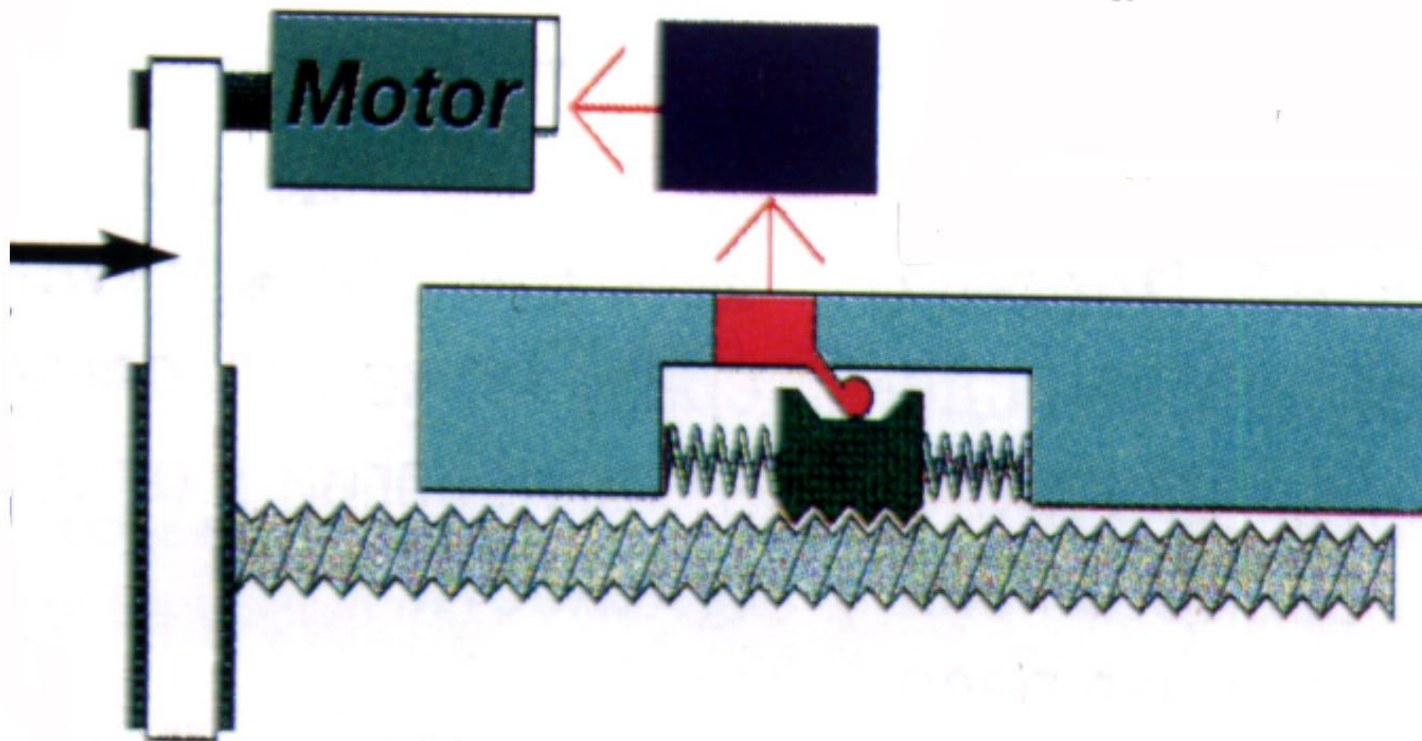


Интеллектуальный мехатронный модуль робота LWR KUKA



**Сверхточные
(ультрапрецизионные) движения в
мехатронных системах**

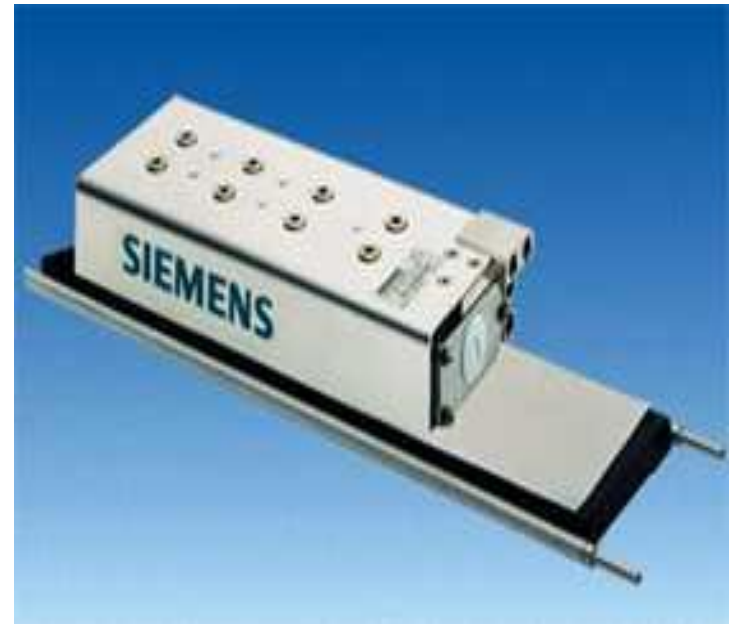
Традиционный привод линейных перемещений



Недостатки традиционных модулей

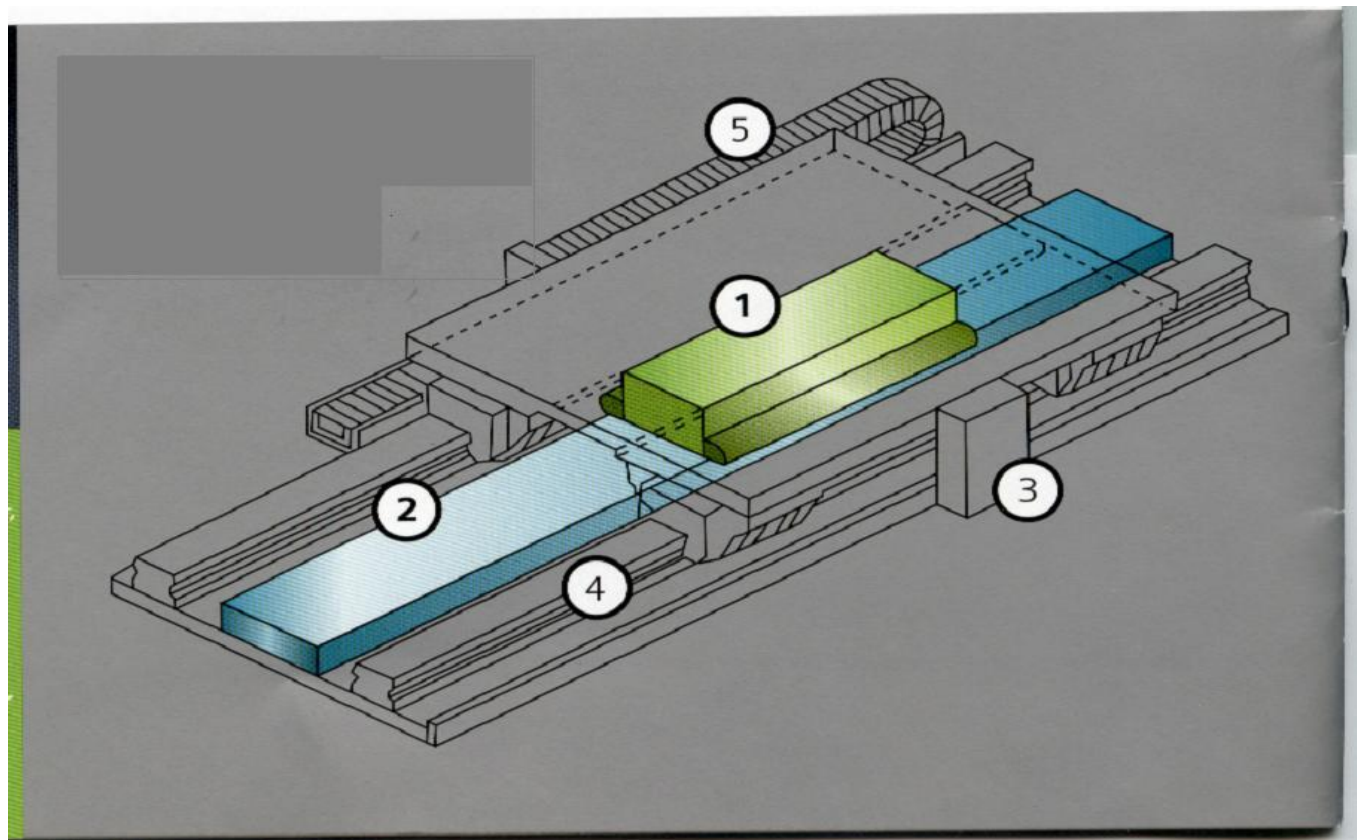
- **большое количество промежуточных элементов от двигателя до конечного звена;**
- **высокая инерционность механических преобразователей, (особенно в крупногабаритных станках) вследствие последовательного соединения нескольких звеньев;**
- **наличие зазоров в передающих устройствах;**
- **трение в сопрягаемых деталях (резко изменяющееся при переходе системы из состояния покоя в состояние движения);**
- **люфт, температурные и упругие деформации передающих звеньев;**
- **износ сопрягаемых элементов в процессе эксплуатации и потеря исходной точности;**
- **погрешности в шаге ходового винта и накопленная погрешность по его длине**

Линейные двигатели



(Егоров О.Д., Подураев Ю.В. Конструирование мехатронных модулей. с.101-106)

Мехатронный модуль на базе линейного электродвигателя



1 – ротор линейного двигателя, 2 – статор, 3 – измерительная линейка, 4 – направляющие, 5 – силовой кабель.

К основным преимуществам мехатронных модулей на базе ЛД можно отнести:

- высокие динамические характеристики: максимальные скорости до 200 м/мин, максимальные ускорения до 5g, устойчивость к силовым перегрузкам, плавность хода;**
- микронную точность движений при практически неограниченной длине перемещений;**
- отсутствие трущихся частей, отсюда высокая долговечность и надежность привода;**
- модульность и ремонтпригодность конструкции;**
- простота компоновки многокоординатных систем на базе линейных модулей, так как рабочие органы машин можно устанавливать непосредственно на подвижную часть линейных двигателей.**

Кинематические задачи в робототехнике и мехатронике

- *Прямая задача о положении многозвенного механизма*
- *Обратная задача о положении*
- *Прямая задача о скорости*
- *Обратная задача о скорости*

Прямая задача о положении многосвязного механизма

Постановка задачи:

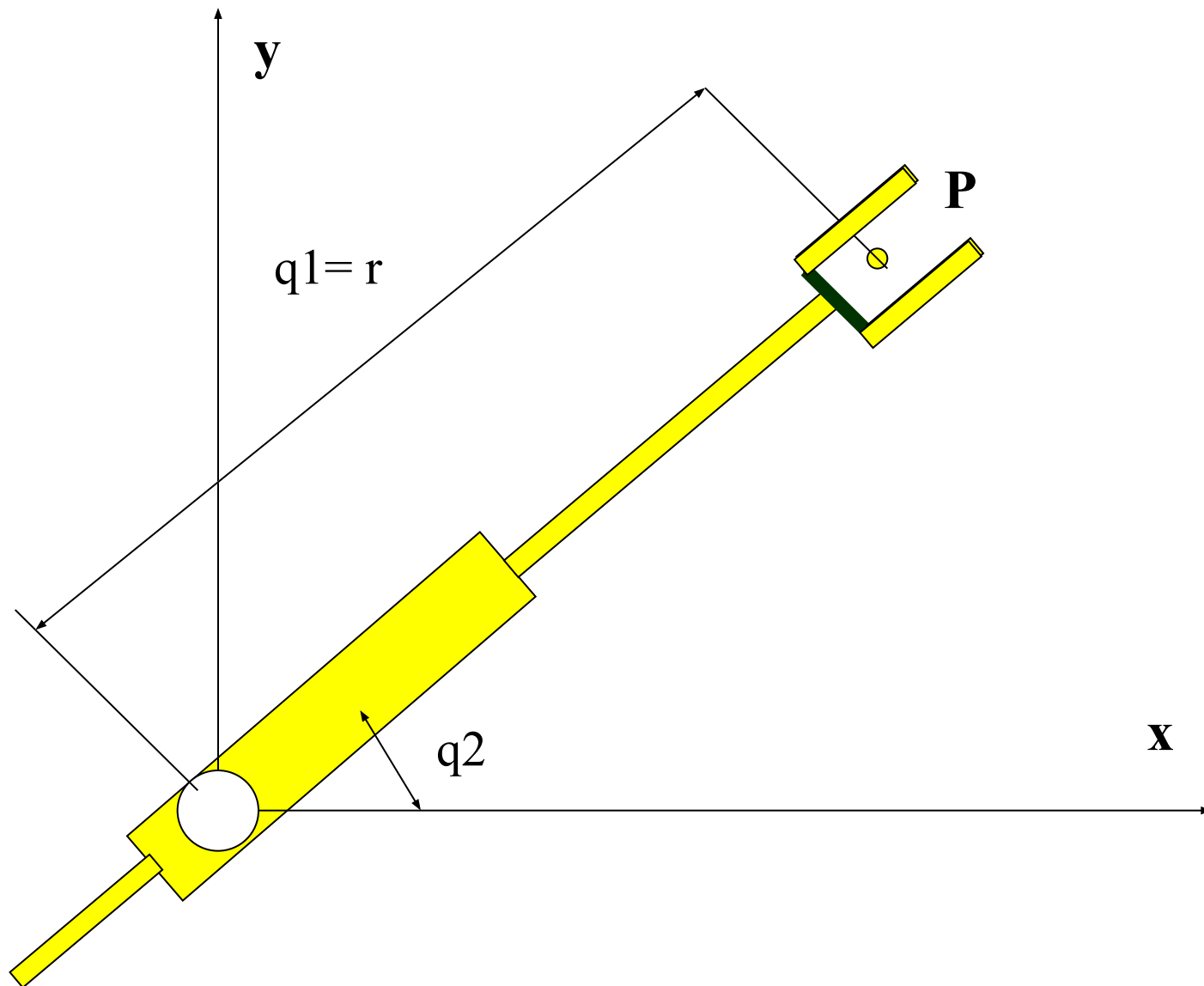
Определить вектор положения концевой точки (рабочего органа) в декартовой системе координат по заданным обобщенным координатам многосвязного механизма

$$\overset{\boxtimes}{X} = f(\overset{\boxtimes}{q})$$

$$X = [xyz\alpha_x\alpha_y\alpha_z]^T$$

$$\overset{\boxtimes}{q} = [q_1q_2\cdots q_n]^T$$

Пример



Пример: прямая задача о положении двухзвенного механизма

$$x = r \cdot \cos(q_2) = q_1 \cdot \cos(q_2)$$

$$y = r \cdot \sin(q_2) = q_1 \cdot \sin(q_2)$$

Обратная задача о положении многосвязного механизма

Постановка задачи:

*Определить обобщенные координаты
многосвязного механизма по заданному
вектору положения концевой точки (рабочего
органа)*

$$\underline{q} = f^{-1}(\underline{X})$$

$$\text{if } q_i \min \leq q_i \leq q_i \max,$$

$$i = 1, \dots, n$$

Пример: обратная задача о
положении двухзвенного механизма

$$x = r \cdot \cos(q2) = q1 \cdot \cos(q2)$$

$$y = r \cdot \sin(q2) = q1 \cdot \sin(q2)$$

$$q2 = \arctg(y / x)$$

$$q1 = r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

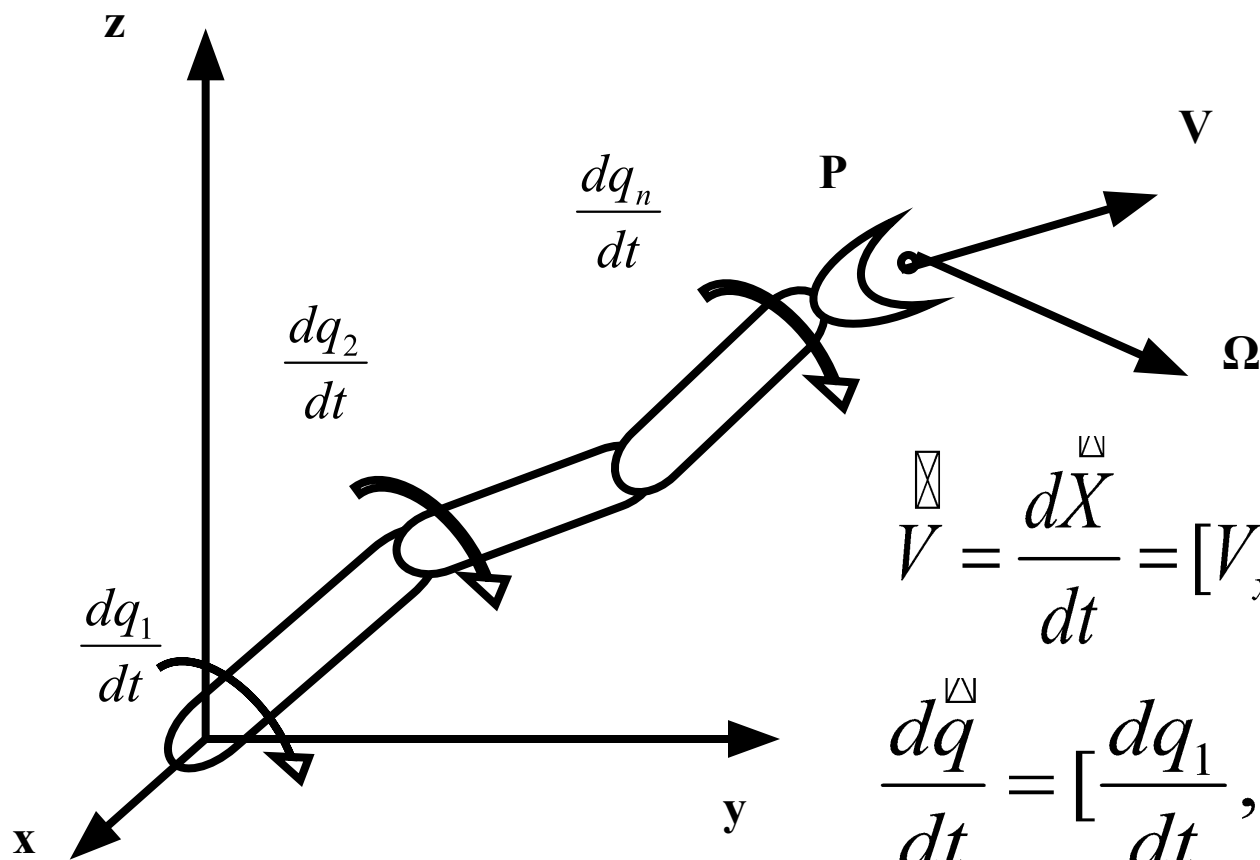
Прямая задача о скорости многосвязного механизма

Постановка задачи:

Определить вектор скорости концевой точки (рабочего органа) по заданным обобщенным скоростям многосвязного механизма

$$\vec{V} = J \cdot \frac{dq}{dt}$$

Прямая задача о скорости многосвязного механизма



$$\overset{\boxtimes}{V} = \frac{d\overset{\boxtimes}{X}}{dt} = [V_x V_y V_z \Omega_x \Omega_y \Omega_z]^T$$
$$\frac{d\overset{\boxtimes}{q}}{dt} = \left[\frac{dq_1}{dt}, \frac{dq_2}{dt}, \dots, \frac{dq_n}{dt} \right]^T$$

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = \frac{\partial x}{\partial q_1} \cdot \frac{dq_1}{dt} + \frac{\partial x}{\partial q_2} \cdot \frac{dq_2}{dt} \\ \frac{dy}{dt} = \frac{\partial y}{\partial q_1} \cdot \frac{dq_1}{dt} + \frac{\partial y}{\partial q_2} \cdot \frac{dq_2}{dt} \end{cases}$$

$$\frac{d\overset{\boxtimes}{X}}{dt} = J \cdot \frac{d\overset{\boxtimes}{q}}{dt} \quad J = \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial q_1} & \frac{\partial x}{\partial q_2} \\ \frac{\partial y}{\partial q_1} & \frac{\partial y}{\partial q_2} \end{bmatrix}$$

Пример : прямая задача о скорости
двухзвенного механизма

$$\frac{dx}{dt} = (\cos q_2) \cdot \frac{dq_1}{dt} + (-q_1 \cdot \sin q_2) \cdot \frac{dq_2}{dt}$$

$$\frac{dy}{dt} = (\sin q_2) \cdot \frac{dq_1}{dt} + (q_1 \cdot \cos q_2) \cdot \frac{dq_2}{dt}$$

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial x}{\partial q_1} & \frac{\partial x}{\partial q_2} \\ \frac{\partial y}{\partial q_1} & \frac{\partial y}{\partial q_2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos q_2 & -q_1 \cdot \sin q_2 \\ \sin q_2 & q_1 \cdot \cos q_2 \end{bmatrix}$$

Определение точности позиционирования многосвязного механизма

Постановка задачи:

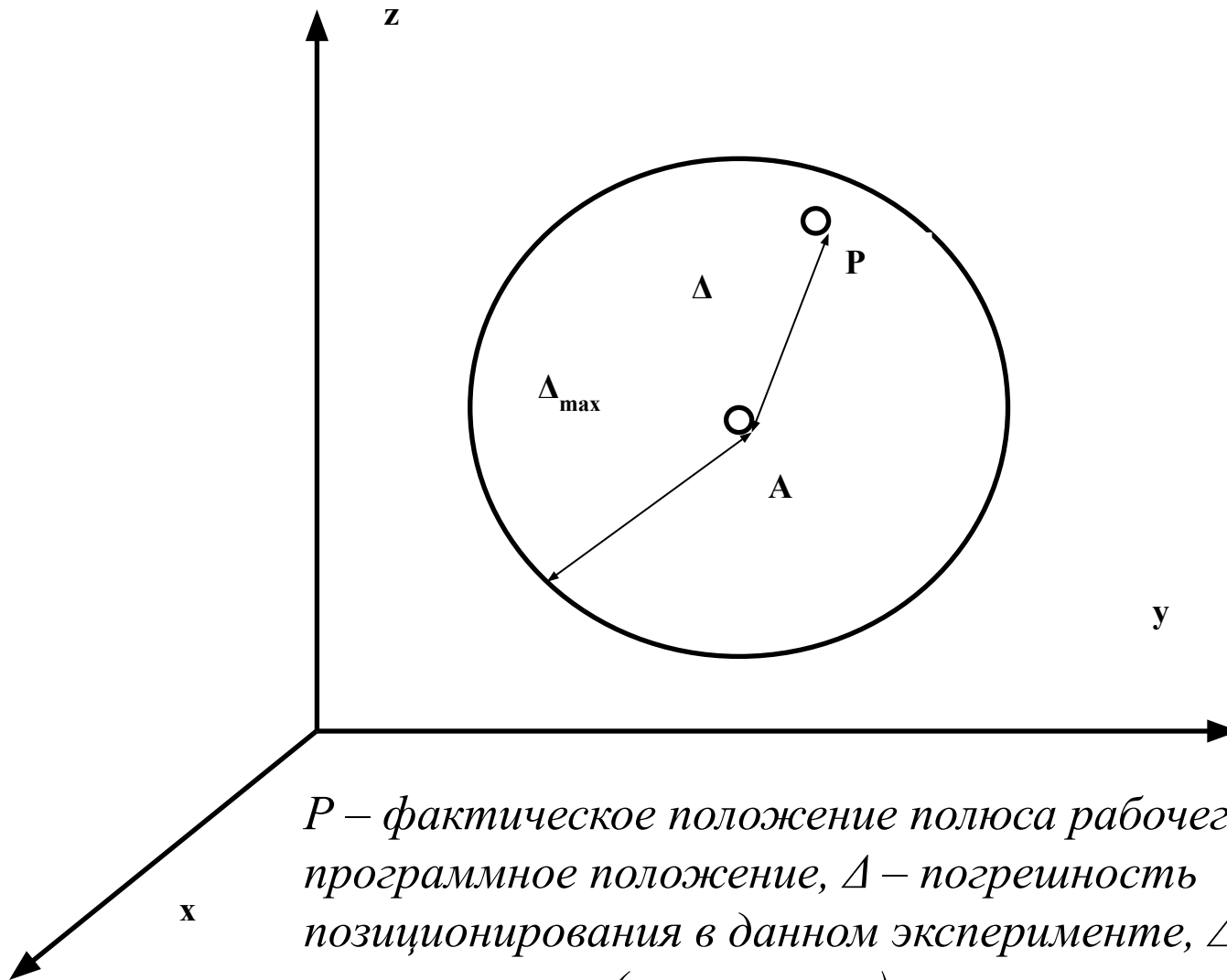
Определить вектор отклонения концевой точки (рабочего органа) по заданным отклонениям обобщенных координат многосвязного механизма

$$\frac{dX}{dt} = J \cdot \frac{dq}{dt}$$

$$dX = J(q) \cdot dq$$

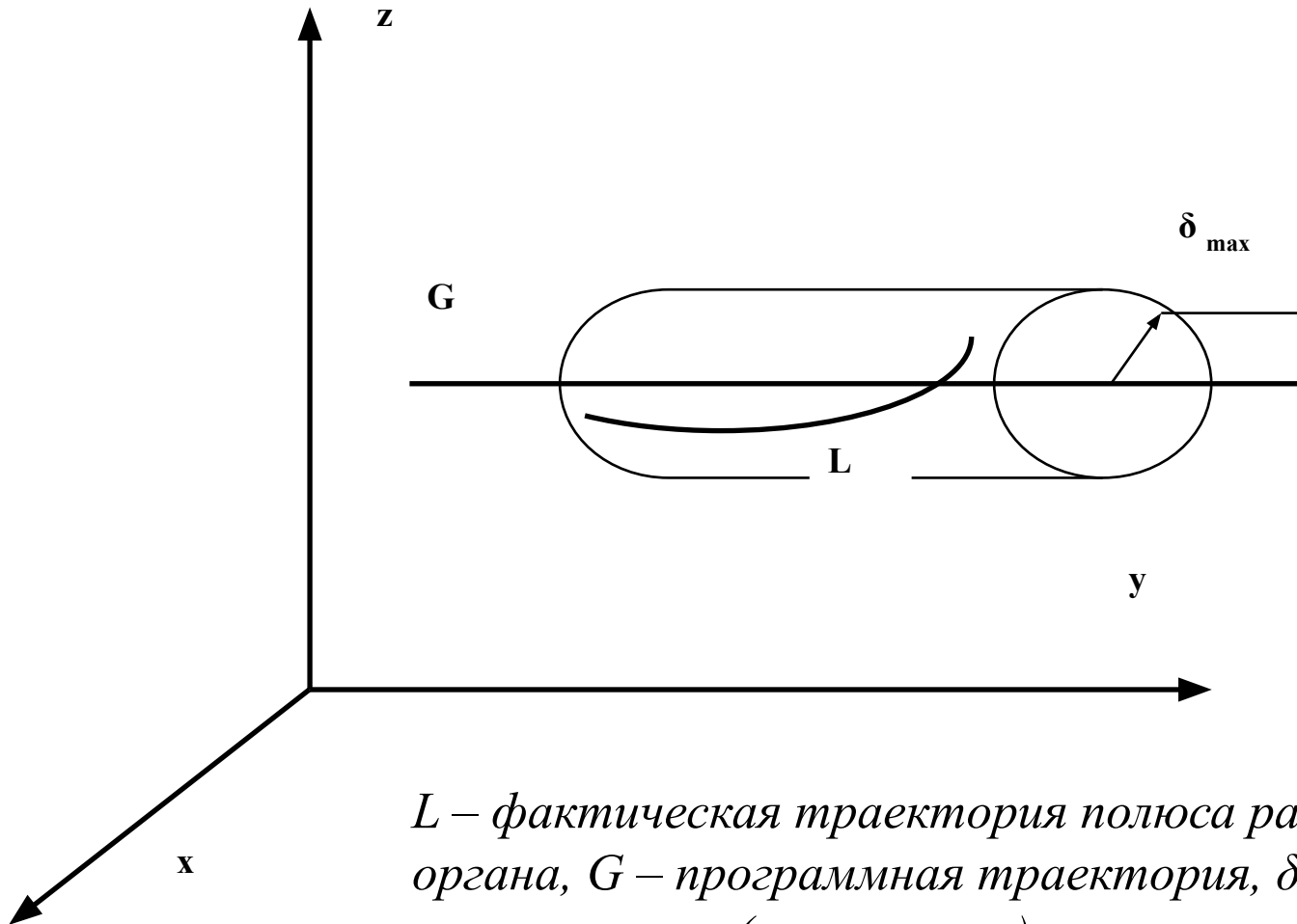
$$\Delta X = J(q) \cdot \Delta q$$

Погрешность позиционирования



P – фактическое положение полюса рабочего органа, A – программное положение, Δ – погрешность позиционирования в данном эксперименте, Δ_{max} – максимальная (паспортная) величина погрешности позиционирования машины

Погрешность обработки траектории



L – фактическая траектория полюса рабочего органа, G – программная траектория, δ_{max} – максимальная (паспортная) величина погрешности обработки траектории

Обратная задача о скорости многосвязного механизма

Постановка задачи:

Определить обобщенные скорости
многосвязного механизма по заданному
вектору скорости концевой точки
(рабочего органа).

$$\frac{d\dot{q}}{dt} = J^{-1} \cdot \dot{V}$$

**Пример : обратная задача о скорости
двухзвенного механизма**

$$\frac{d\overset{\square}{q}}{dt} = J^{-1} \cdot \overset{\square}{V}$$

$$J = \begin{bmatrix} \cos q_2 & -q_1 \cdot \sin q_2 \\ \sin q_2 & q_1 \cdot \cos q_2 \end{bmatrix}$$

$$J^{-1} = \begin{bmatrix} \cos q_2 & \sin q_2 \\ -\sin q_2 / q_1 & \cos q_2 / q_1 \end{bmatrix}$$

Определение дистанционного управления

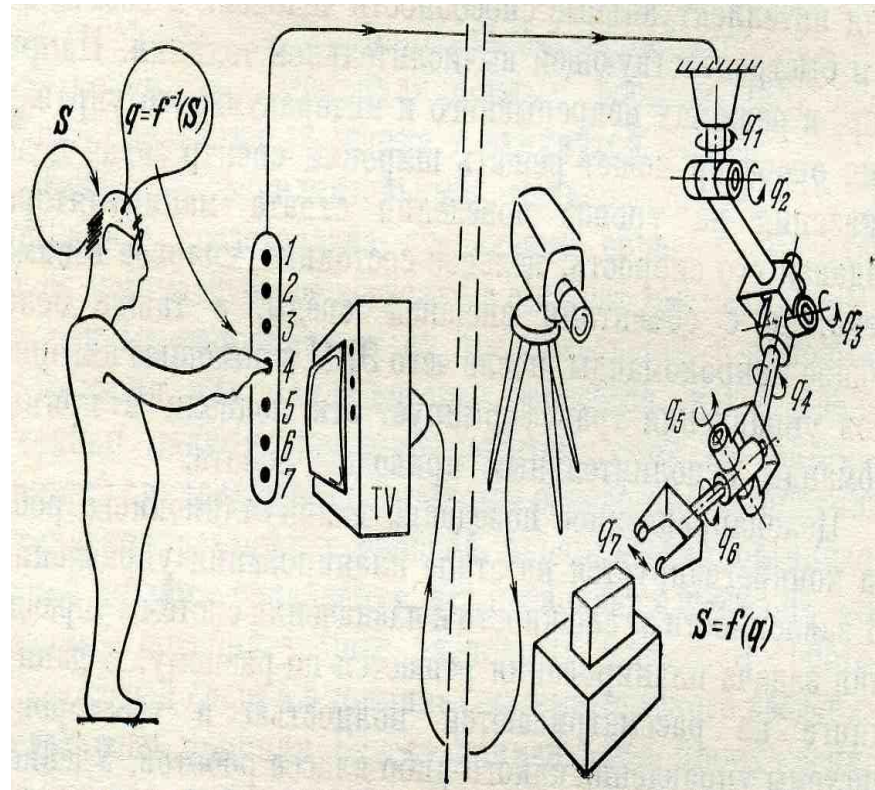
Дистанционное управление
(remote control):

Управление роботом в реальном времени на расстоянии и под непосредственным визуальным контролем со стороны оператора.

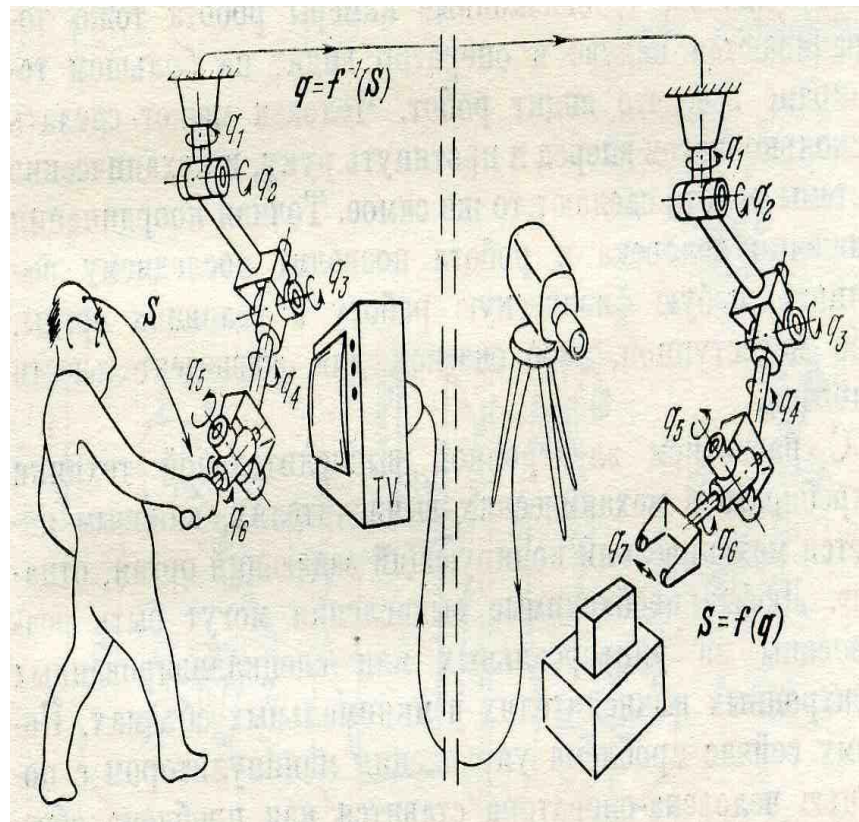
Методы дистанционного управления

- Командное управление
- Копирующее управление
- Полуавтоматическое управление

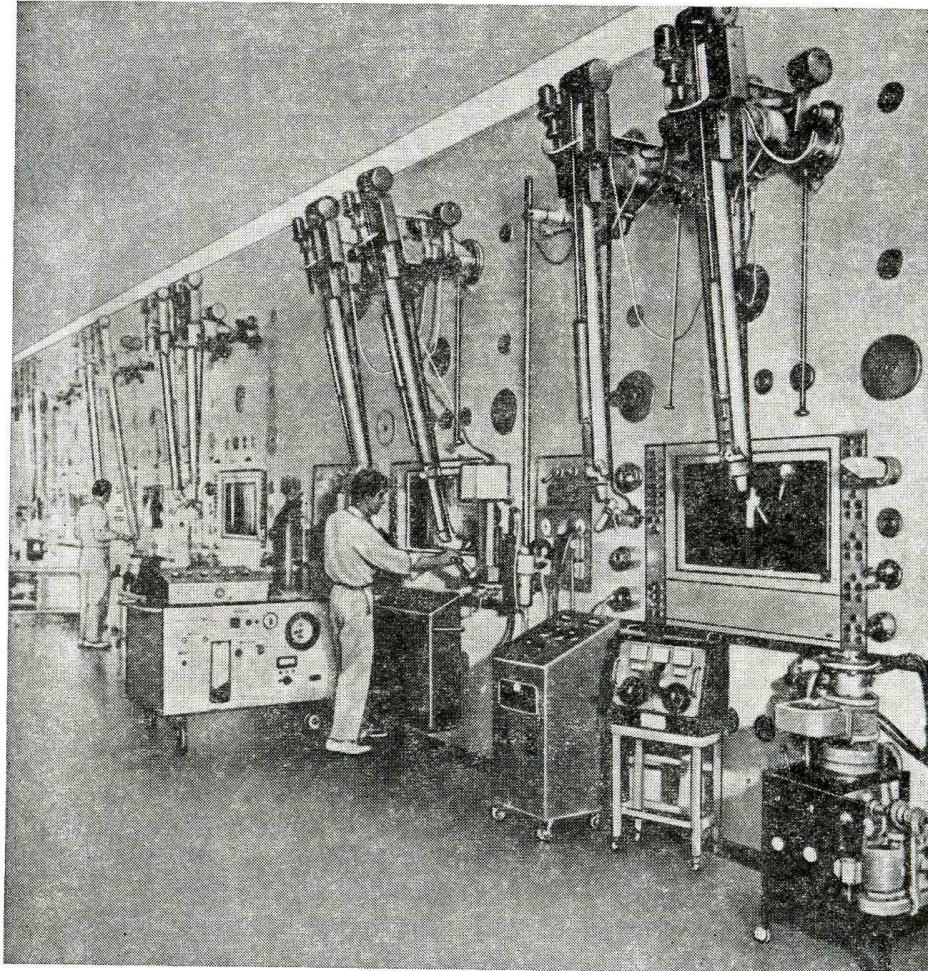
Командное управление



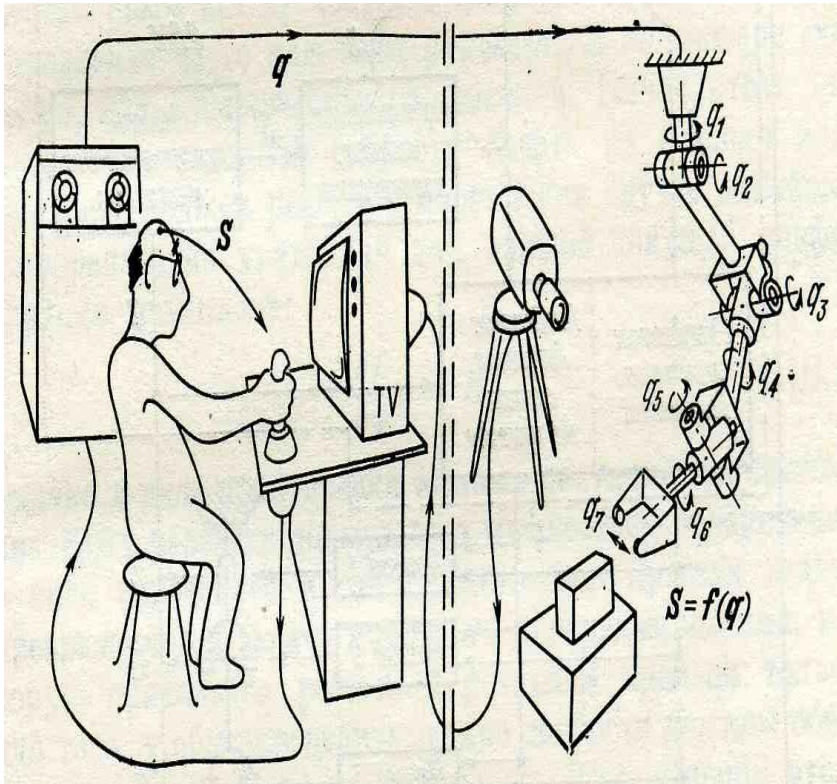
Копирующее управление



Копирующее управление



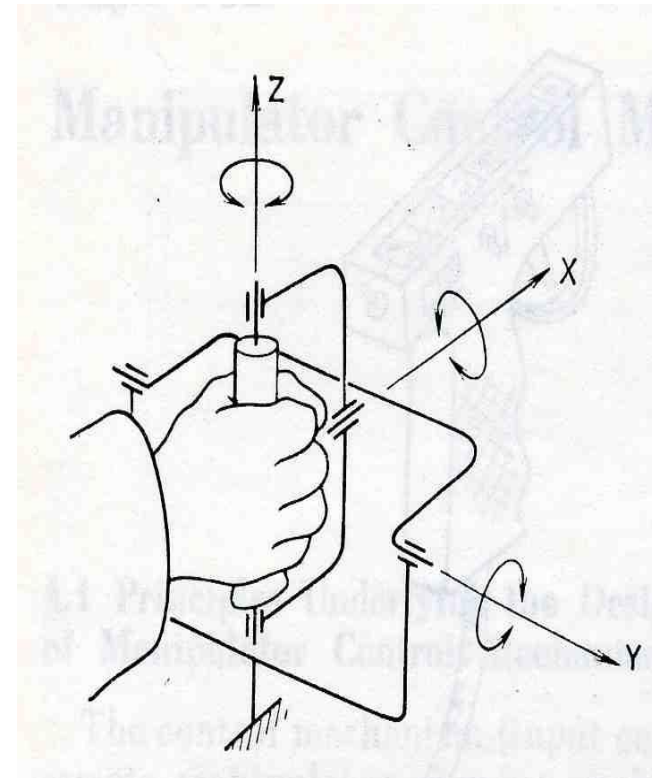
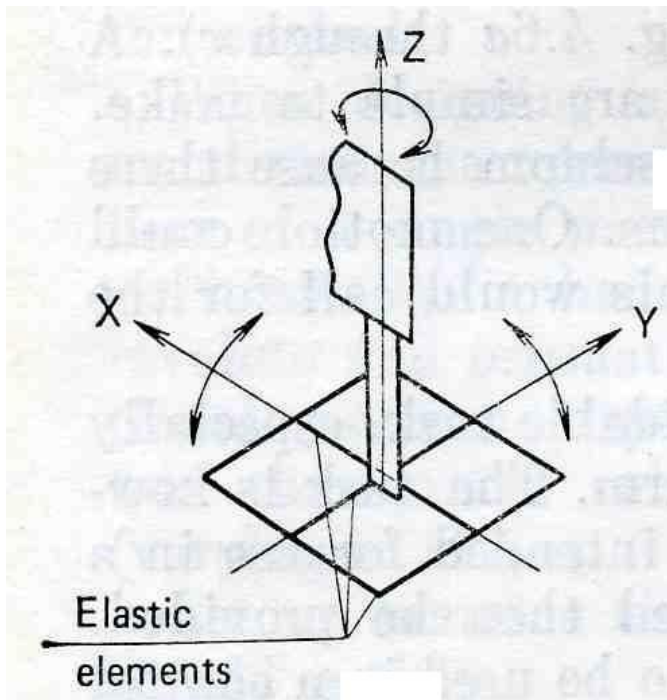
Полуавтоматическое управление



- Позиционное управление
- Управление по вектору скорости
- Управление по вектору силы
- Комбинированные методы управления

Доп слайды

Полуавтоматическое управление



ОБЛАСТЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ВЫПУСКНИКОВ, ОСВОИВШИХ ПРОГРАММУ БАКАЛАВРИАТА

(направление 15.03.06 Мехатроника и робототехника)

Проектирование, исследование, производство и эксплуатация мехатронных и робототехнических систем для применения в автоматизированном производстве, в оборонной отрасли, Министерстве внутренних дел Российской Федерации, Министерстве Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, на транспорте, в сельском хозяйстве, в медицине и в других областях.

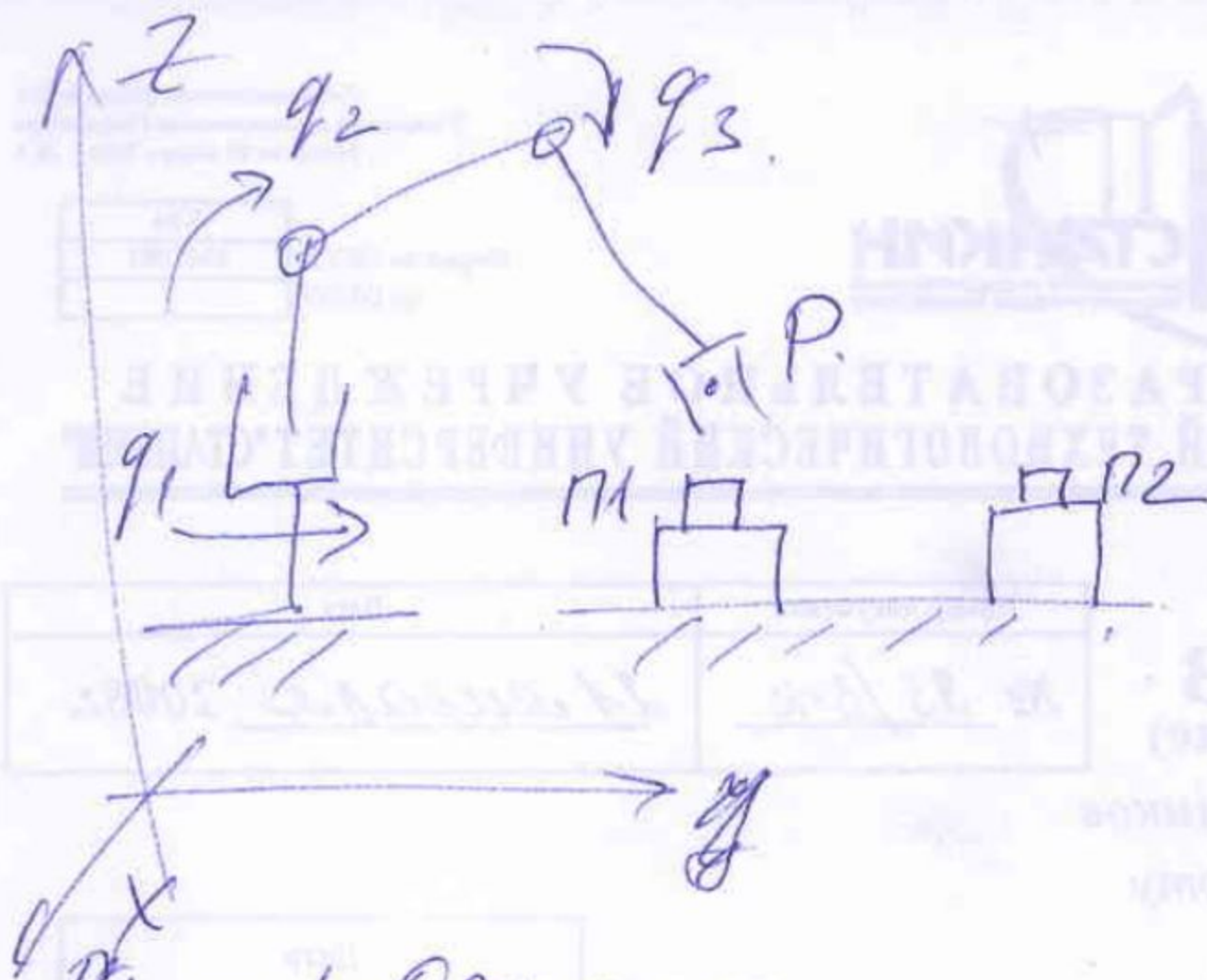
(Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования, раздел 4)

ОБЪЕКТЫ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ВЫПУСКНИКОВ, ОСВОИВШИХ ПРОГРАММУ БАКАЛАВРИАТА

(направление 15.03.06 Мехатроника и робототехника)

Мехатронные и робототехнические системы, включающие информационно-сенсорные, исполнительные и управляющие модули, их математическое, алгоритмическое и программное обеспечение, методы и средства их проектирования, моделирования, экспериментального исследования, отладки и эксплуатации, научные исследования и производственные испытания мехатронных и робототехнических систем, имеющих различные области применения.

(Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования, раздел 4)

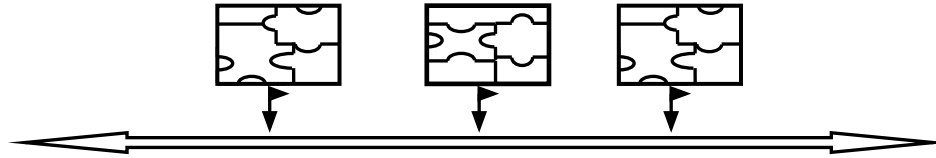


1. Определить

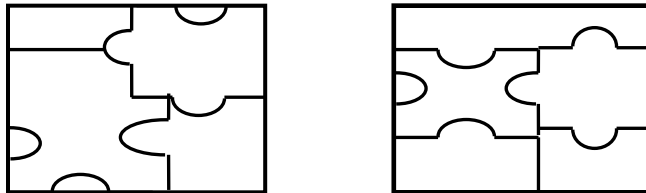
1.1) определить ω

$\omega = [\omega_1^1 \quad \omega_2^1 \quad \omega_3^1] \rightarrow \text{на}$

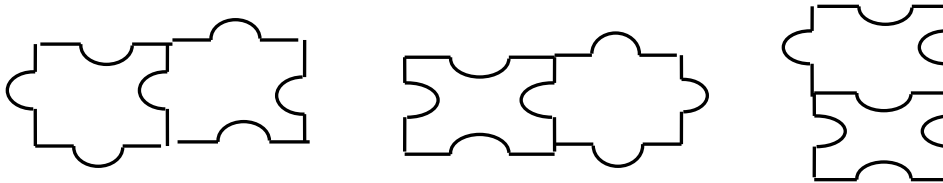
IV – мехатронные комплексы машин



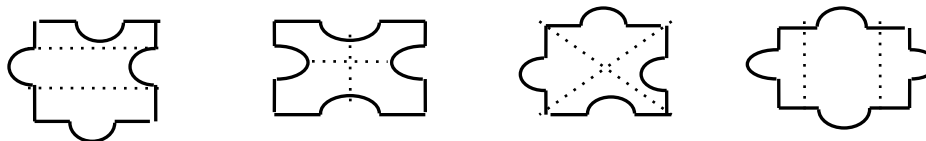
III – мехатронные системы и машины



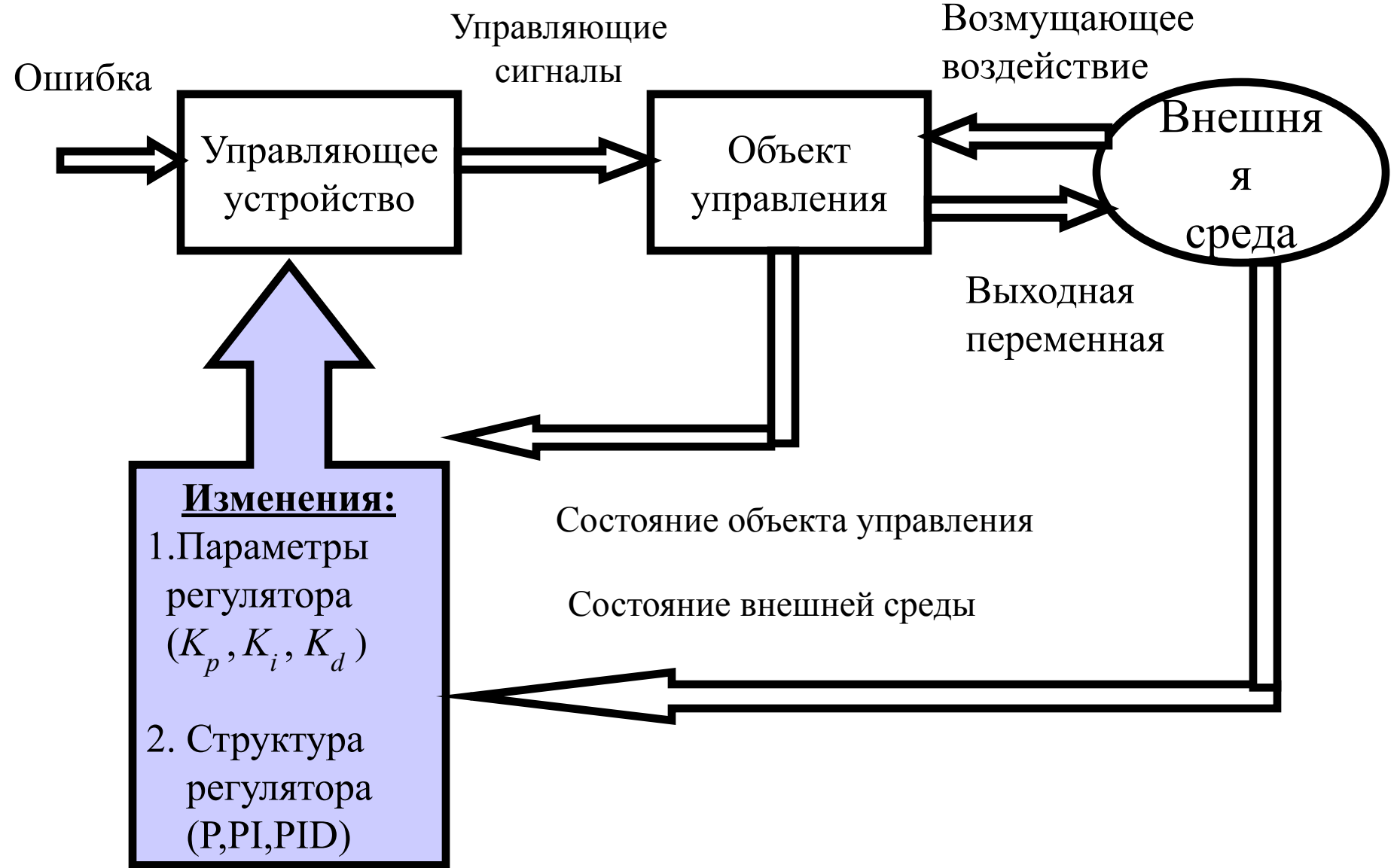
II – мехатронные модули



I – элементы мехатронных модулей



Адаптивное управление



Структура нервной системы

Многие отделы центральной нервной системы организованы в виде последовательных слоев-уровней. Клетка одного уровня получает многочисленные возбуждающие и тормозные входы от предыдущего уровня и посылает выходные сигналы многим клеткам последующего уровня. Основную массу входной информации нервная система получает от рецепторов глаз, ушей, кожи и т. д., которые преобразуют такие внешние воздействия, как свет, тепло или звук, в электрические нервные сигналы. Выходом могут быть сокращения мышц или реакции клеток.

Актуальные документы и нормативные акты по развитию отечественной робототехники

- 1. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации (утверждена Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642)**
- 2. Указ Президента Российской Федерации от 16.12.2015 № 623**

Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации

(утверждена Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642)

Перечень направлений, которые позволят получить научные и научно-технические результаты и создать технологии, являющиеся основой инновационного развития внутреннего рынка продуктов и услуг, устойчивого положения России на внешнем рынке, и обеспечат:

Н1. **Переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта.**

Указ Президента Российской Федерации от 16.12.2015 № 623

Внести в приоритетные направления развития науки, технологий и техники в Российской Федерации,

утвержденные Указом Президента Российской Федерации от 7 июля 2011 г. N 899

"Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации" (Собрание законодательства Российской Федерации, 2011, N 28, ст. 4168),

изменение, дополнив их пунктом 6-1 следующего содержания:

6-1. Робототехнические комплексы (системы) военного, специального и двойного назначения."

Робототехника –перспективное профессия на ближайшие годы

**Атлас новых профессий, подготовленный
экспертами Московской школы
управления «Сколково»:**

**[http://www.skolkovo.ru/public/media/documents/research/
sedec/SKOLKOVO_SEDeC_Atlas.pdf](http://www.skolkovo.ru/public/media/documents/research/sedec/SKOLKOVO_SEDeC_Atlas.pdf)**

РОБОТОТЕХНИКА. АТЛАС НОВЫХ ПРОФЕССИЙ

□ Проектировщик промышленной робототехники



Специалист, занимающийся проектированием роботизированных производственных устройств (для таких операций, как покраска, сварка, упаковка, штамповка), производственных логистических устройств, например, погрузчики, транспортеры, манипуляторы а так же роботизированных комплексов из таких устройств, например, автоматизированные заводы.

РОБОТОТЕХНИКА. АТЛАС НОВЫХ ПРОФЕССИЙ

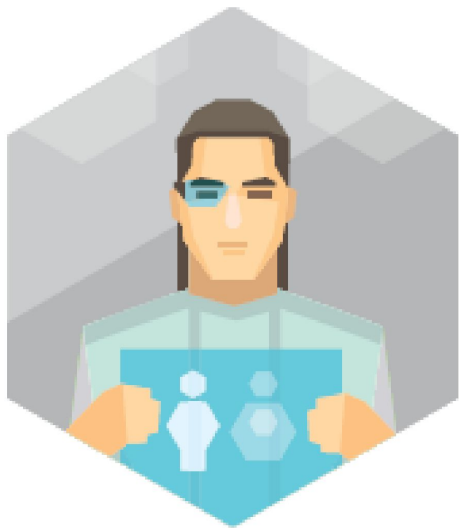
□ **Оператор многофункциональных робототехнических комплексов**



Специалист по управлению и обслуживанию роботизированных систем на сложных и опасных производствах и при работе с труднодоступными или микрообъектами.

РОБОТОТЕХНИКА. АТЛАС НОВЫХ ПРОФЕССИЙ

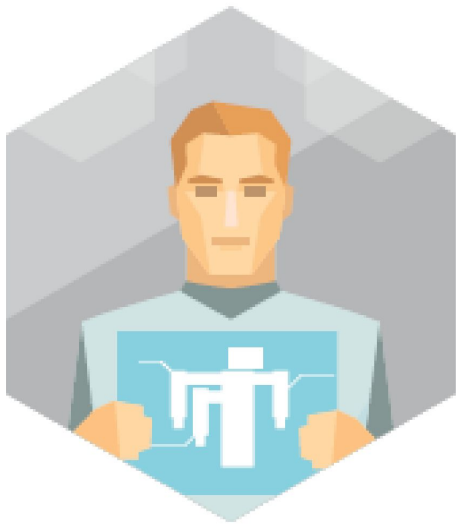
□ **Проектировщик домашних роботов**



Специалист, занимающийся разработкой и программированием домашних роботов (например, робот-сиделка, робот-уборщик, робот-прачка, робот-садовник, робот для выгуливания собак и др.), которые облегчают ведение домашнего хозяйства. Такие роботы интегрированы с другими элементами «умного дома», имеют свободу перемещения и могут выполнять сложную домашнюю работу.

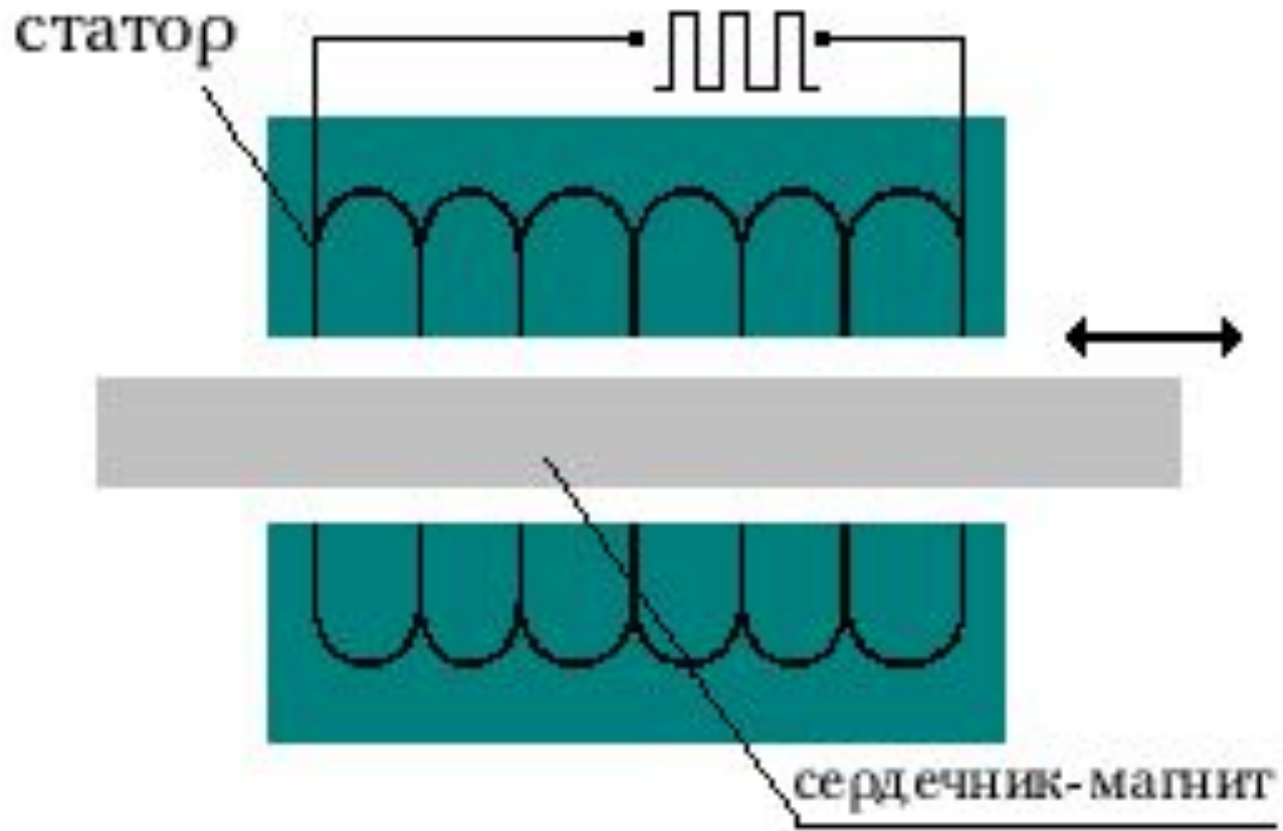
РОБОТОТЕХНИКА. АТЛАС НОВЫХ ПРОФЕССИЙ

□ **Проектировщик медицинских роботов**



Специалист по проектированию биосовместимых робототехнических комплексов и киберустройств для медицины и биотехнологической отрасли (например, роботы-хирурги, диагностические роботы, киберпротезы и др.)

Электромагнитная система



Линейный электродвигатель

