



**МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)**



Основы проектирования робототехнических систем

Профессор кафедры №704
Ким Николай Владимирович

2021 г.

Лекции ОПР

Цель дисциплины:

Знакомство со структурой роботов и методиками проектирования облика.

Основные вопросы:

- Роботы. Основные понятия. Виды роботов. Состояние, перспективы. Классификации. Структуры.
- Беспилотные робототехнические системы (наземные, авиационные, водные).
- Этапы проектирование (ТПр – тех. предложение, ЭП – эскизные проект, ТП – технический проект, РП – рабочий проект). Требования, результаты.
- Принципы системного подхода. Показатели качества и критерии.
- Функциональные показатели качества (ПК). Точность управления процессами. Производительность.
- Функциональные показатели качества (ПК). Надежность.
- Системы автоматического управления (САУ) роботов. Ручное, полуавтоматическое, автоматическое, автономное управление.
- Мобильные платформы. Структура. Решаемые задачи. Управление, навигация.
- Манипуляторы. Кинематические схемы. Захватные устройства. Прямая и обратная позиционные задачи
- Информационные системы роботов.
- Системы технического зрения (СТЗ) роботов.
- Взаимодействие робота с Человеком и внешним миром.
- Человеко-машинные системы (ЧМС). Эргономика. Коботы

1.Обзор тем 5 семестра

Робот: Исполнительное устройство с двумя или более программируемыми степенями подвижности, обладающее определенным уровнем автономности и способное перемещаться во внешней среде с целью выполнения поставленных задач.

Робототехническое устройство: Исполнительное устройство, обладающее свойствами промышленного или сервисного робота, но у которого отсутствует требуемое число программируемых степеней подвижности или определенный уровень автономности.

Промышленный робот: Автоматически управляемый, перепрограммируемый, многоцелевой манипулятор, программируемый по трем и более осям. Он может быть либо зафиксирован в заданном месте, либо может иметь возможность передвижения для выполнения промышленных задач по автоматизации.

Примечание 1 - Промышленный робот включает: - манипулятор, включая исполнительные механизмы; - контроллер, включая подвесной пульт обучения и интерфейс связи (электронное оборудование и программное обеспечение).

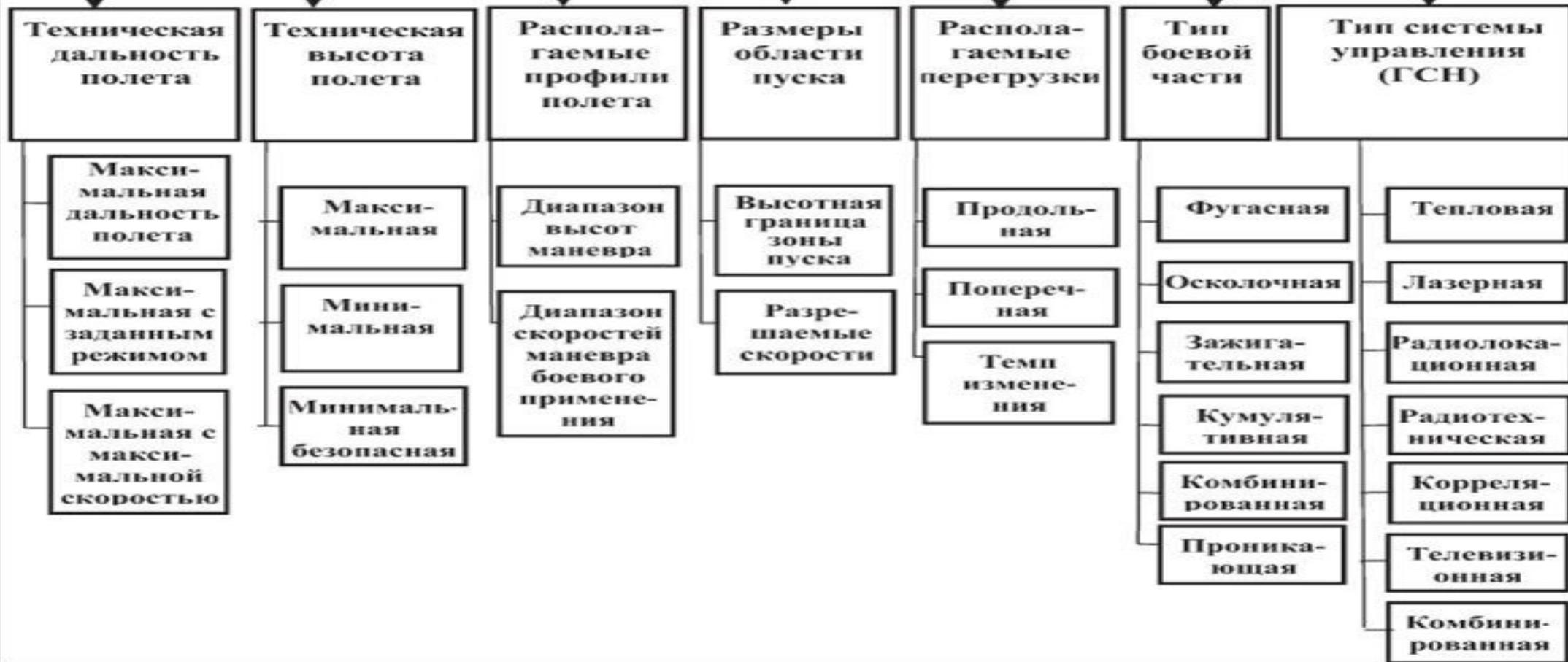
Примечание 2 - Данный объект может иметь дополнительные интегрированные оси.

Робототехническая система: Система, включающая роботов, рабочие органы роботов, а также машины, оборудование, устройства и датчики, поддерживающие роботов во время работы.

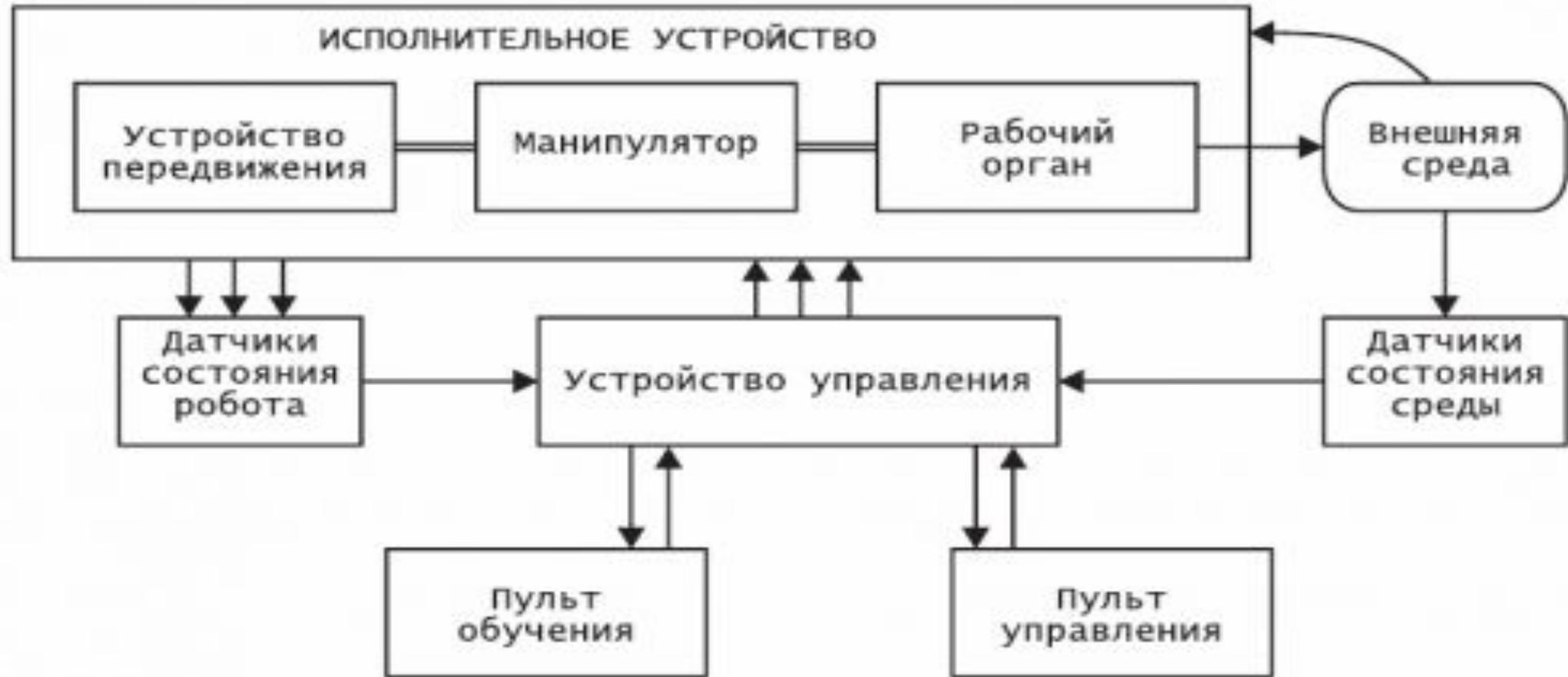
Промышленная робототехническая система: Система, включающая промышленных роботов, рабочие органы роботов, машины, оборудование, устройства, внешние вспомогательные оси и датчики, поддерживающие роботов во время работы.

ГОСТ Р ИСО 8373-2014 Роботы и робототехнические устройства. Термины и определения

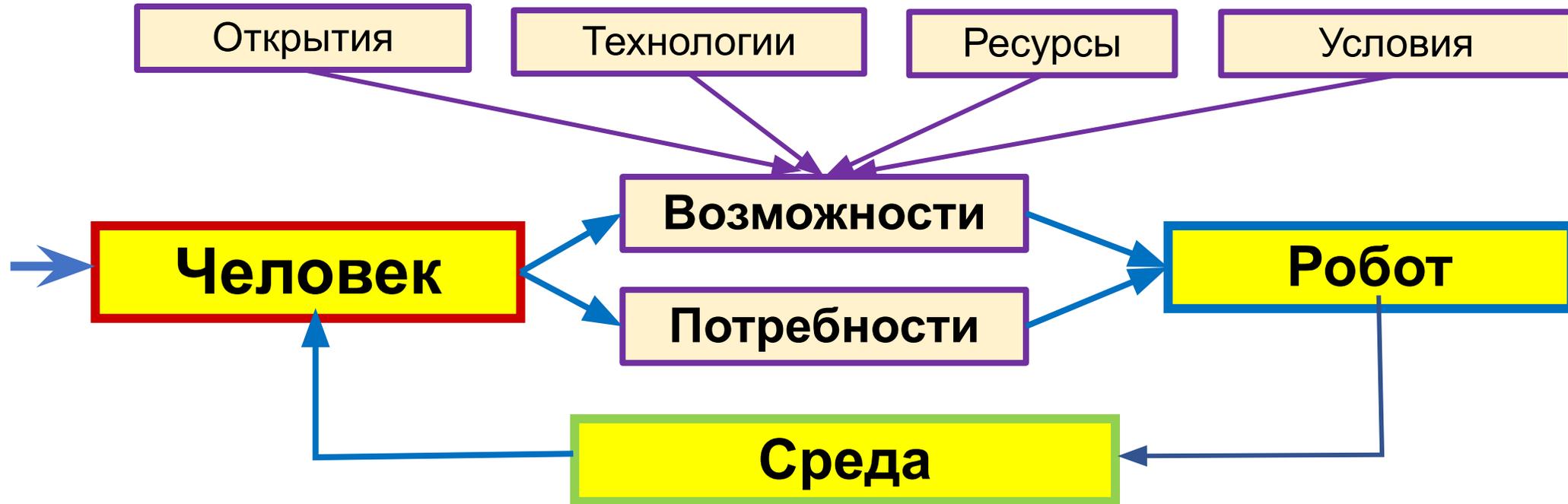
Технический облик ракеты



Структурная схема промышленного робота



Эволюция роботов



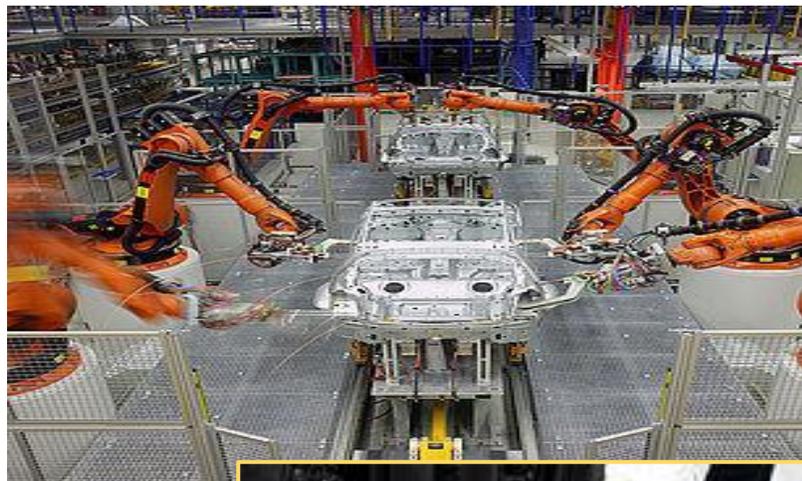
Мы изменяем роботов и среду, а они меняют нас.

У человека, среды и роботов могут возникнуть или уже существуют антагонистические противоречия.

Роботы захватывают мир и мы им помогаем.

Промышленные роботы (ПР)

Стационарные роботы –
манипуляторы



Мобильный
манипулятор



Использование роботизированных устройств, в частности, **роботов-манипуляторов**, позволяет выполнять работу в случаях, когда привлечение космонавта по тем или иным причинам нецелесообразно.

Применение манипуляционных систем возможно:

- при удаленной работе в местах, где нахождение человека может быть опасным или невозможным;
- для выполнения тяжелых работ, например, по стыковке космических кораблей, при перемещения тяжелой научной аппаратуры и пр.;
- при необходимости выполнения космонавтом нескольких различных работ;
- при информационной перегруженности космонавта;
- для выполнения рутинных работ, технология выполнения которых известна и пр.

Примерами использования роботов-манипуляторов в космосе является сборка орбитальных станций (МИР, МКС), обслуживание телескопа Хаббл, стыковка космического корабля к орбитальной станции, перемещение грузов, обслуживание научных экспериментов, перемещение космонавтов в труднодоступные зоны на внешней поверхности космического аппарата и др.

Ведутся исследования по разработке роботов для внутрикабинной деятельности.

Космические роботы СССР

1959 г. - Первый аппарат на Луне

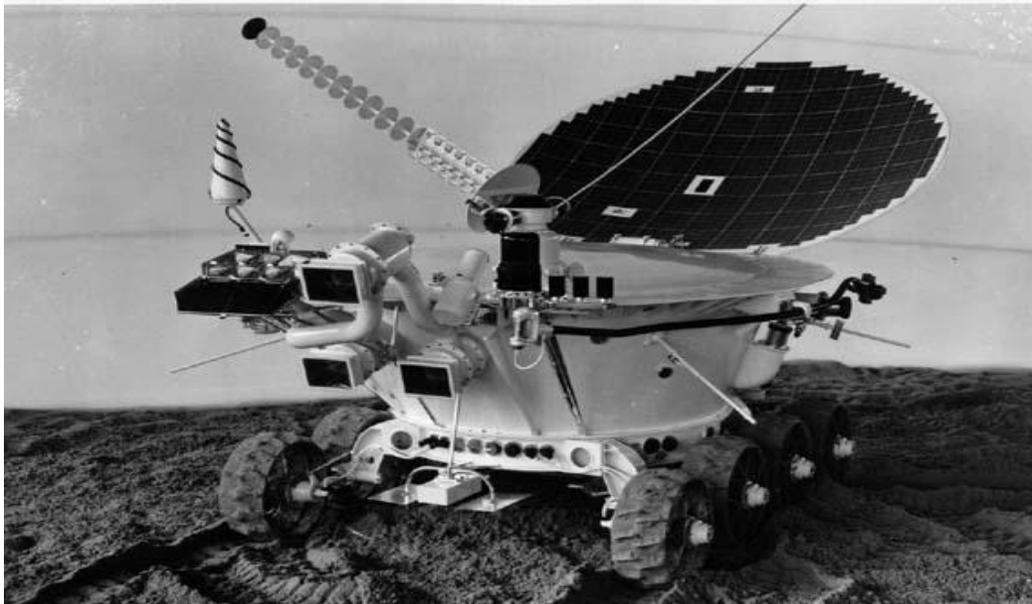
1966 г. - Первый в мире перелёт на другую планету (Венера - 3)

Мягкая посадка на Луну

1970 г. – Посадка на Луну (Луна - 16) и возвращение на Землю

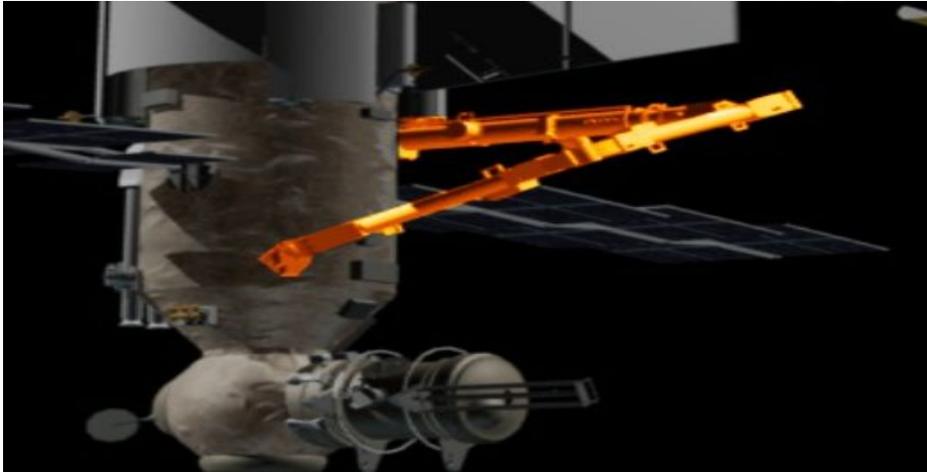
Дистанционно управляемый Луноход-1 (17.11.70г. - 14.09.71г.)

1971 г. - Первая мягкая посадка на Марс (Марс-3)



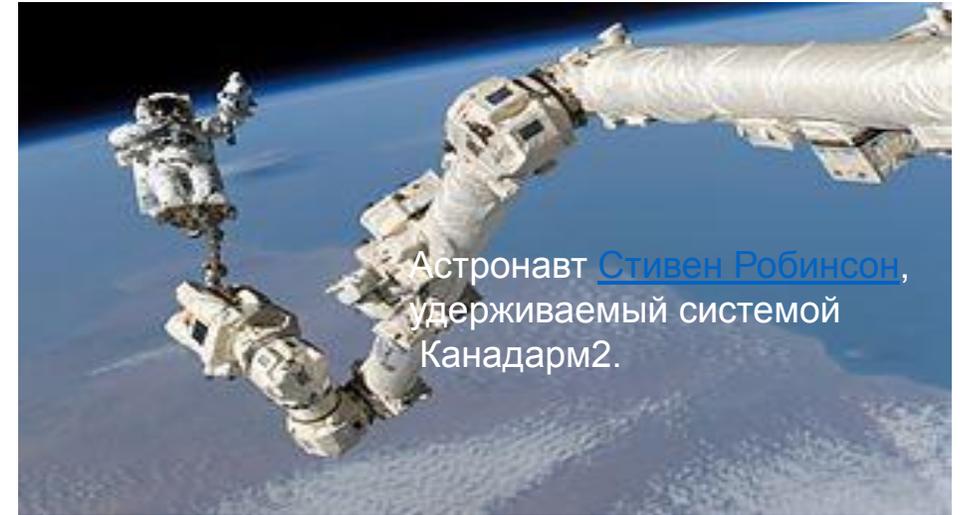
Луноход-1 функционировал **11** месяцев, прошел расстояние более **10** км, обследовал **80 000** кв. м. поверхности Луны, передал на Землю **211** лунных панорам и **25** тысяч фотографий. Управления – лунный день (**14** суток). Временная задержка сигнала – около **4** с.

Космические роботы



• **Европейский манипулятор ERA** (*European Robotic Arm*) — дистанционно управляемый космический робот-манипулятор для сборочных работ и обслуживания российского сегмента МКС:

- Обследование внешней поверхности станции.
- Работа с оборудованием размещённым на внешней поверхности РС МКС.
- Поддержка космонавтов.
- Перемещение грузов массой до 8000 кг с точностью позиционирования до 5 мм.



Астронавт [Стивен Робинсон](#), удерживаемый системой Канадарм2.



«Декстр» — двурукий манипулятор, являющийся частью мобильной обслуживающей системы «[Канадарм2](#)» МКС. Его целью является расширение функциональности этой системы, позволяющей выполнять действия за бортом станции без необходимости [выхода в открытый космос](#).

Сервисные роботы Робот-”игрушка”

Для детей, малоподвижных пациентов,
одиноких, пожилых людей.



Тактильное общение

Восприятие прикосновений
Рефлексы «стимул - реакция»

Эмоции

Психологическая помощь в домашних условиях.
Информационная помощь (напоминания, поиск).
Развлечение, общение, обучение.

Речевое общение

Распознавание речи
Понимание смысла
Ведение диалогов
Информация, команды



Сервисный Робот – информационный ассистент



Мобильные помощники

Мобильность

Передвижение по
комнате

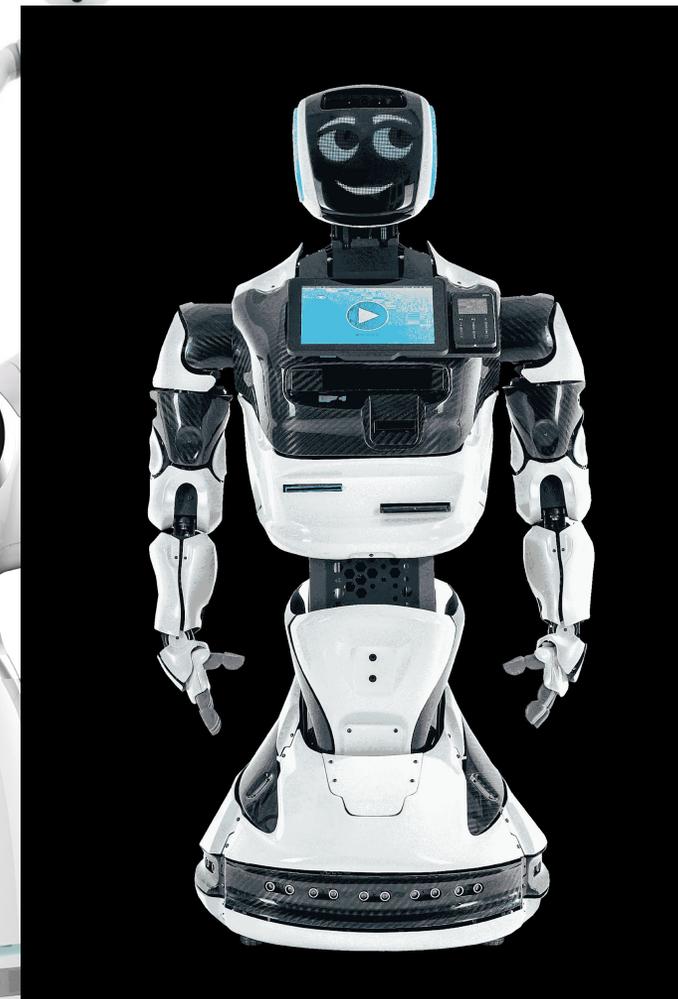
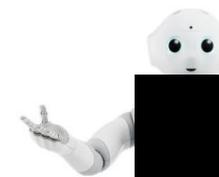
Расширяемость функций

Физическое взаимодействие с человеком

Оценка состояния человека

Помощь в бытовых задачах

Развлечение, PR, информационная помощь



Использование роботов в мире

1000 тыс. ПР

Россия занимает второе место в мировом рейтинге производителей **сервисных роботов** (отчет международной федерации робототехники (IFR) за 2019 год.

Согласно оценкам IFR, в мире 889 производителей сервисных роботов: США – 223 компании, в России – 73, Германия (69), Китай (64), Франция (52) и Япония (50).

500 тыс. ПР

ПР

Китай

Япония

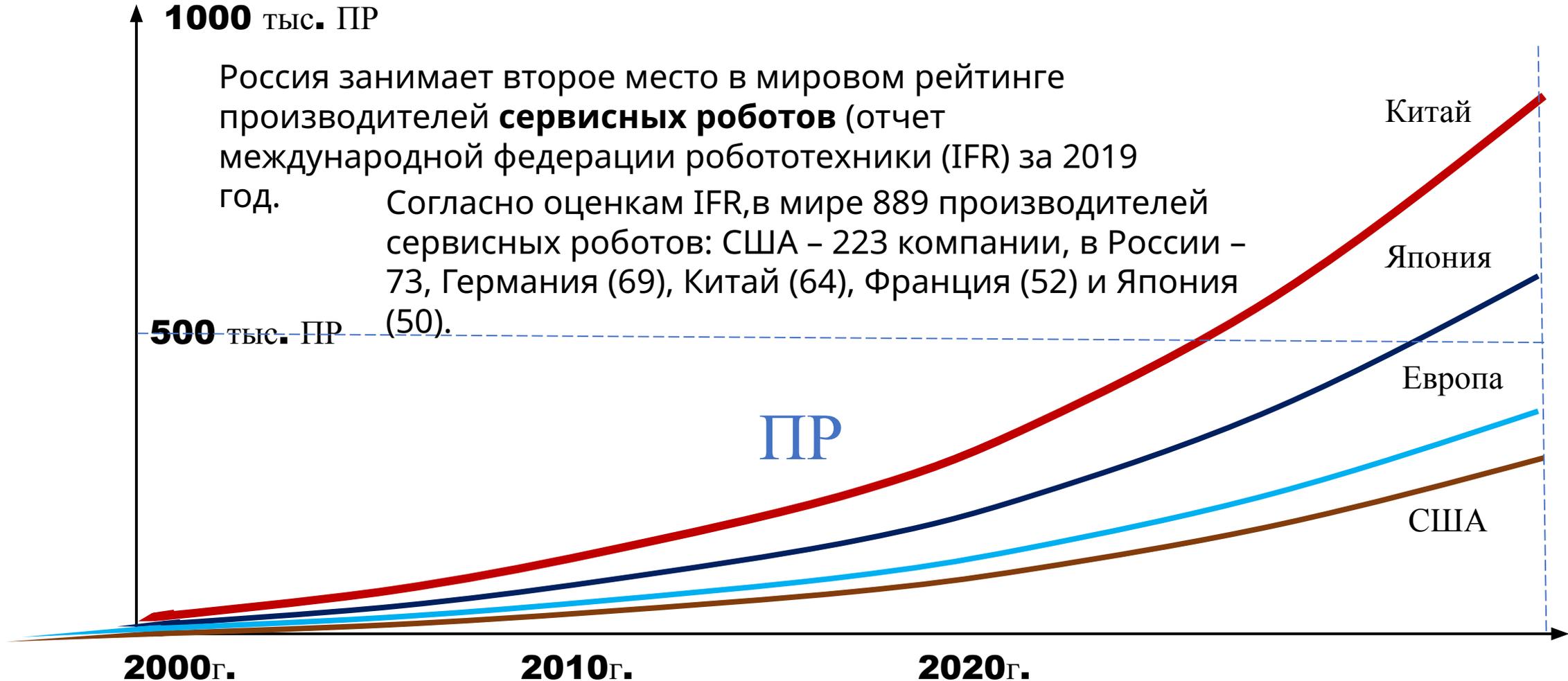
Европа

США

2000г.

2010г.

2020г.



Робот «Маша» (МАИ, 2020г.)



Система зрения

Обнаружение и распознавание лиц
Поиск и распознавание предметов
Визуальная навигация

Манипулятор

Взятие, переноска и передача предметов

Мобильная платформа

Навигация в помещениях
Планирование маршрутов
Управление движением

Лицо

Выражение эмоций

Речевой интерфейс

Распознавание речи
Понимание смысла
Ведение диалогов
Информация, команды

Информационный экран

Требования

Автономность

Функциональность

Безопасность

2. Исследование и проектирование роботов

- Принципы системного подхода при исследовании и проектировании роботов.
- Облик. Цель проектирования (модернизация (улучшение, адаптация, ...), изобретение, открытие).
- Показатели качества и критерии.
- Что должны уметь студенты.

Системный подход

Системный подход — направление методологии научного познания, в основе которого лежит рассмотрение объекта как системы: целостного комплекса взаимосвязанных элементов; совокупности взаимодействующих объектов; совокупности сущностей и отношений.

Основные принципы системного подхода

- **Целостность**, позволяющая рассматривать одновременно систему как единое целое и в то же время как подсистему для вышестоящих уровней.
- **Иерархичность строения**, то есть наличие множества (по крайней мере, двух) элементов, расположенных на основе подчинения элементов низшего уровня элементам высшего уровня.
- **Структуризация**, позволяющая анализировать элементы системы и их взаимосвязи в рамках конкретной организационной структуры. Как правило, процесс функционирования системы обусловлен не столько свойствами её отдельных элементов, сколько свойствами самой структуры.
- **Множественность**, позволяющая использовать множество кибернетических, экономических и математических моделей для описания отдельных элементов и системы в целом.
- **Системность**, свойство объекта обладать всеми признаками системы.

Основные определения

- **Система** — совокупность взаимосвязанных элементов, образующих целостность или единство.
- **Структура** — способ взаимодействия элементов системы посредством определенных связей (картина связей и их стабильностей).
- **Процесс** — динамическое изменение системы во времени.
- **Функция** — работа элемента в системе.
- **Состояние** — положение системы относительно других её положений.
- **Системный эффект** — такой результат специальной реорганизации элементов системы, когда целое становится больше простой суммы частей.
- **Структурная оптимизация** — целенаправленный итерационный процесс получения серии системных эффектов с целью оптимизации прикладной цели в рамках заданных ограничений. Структурная оптимизация практически достигается с помощью специального алгоритма структурной реорганизации элементов системы. Разработана серия имитационных моделей для демонстрации феномена структурной оптимизации и для обучения.

Используемые аспекты системного подхода

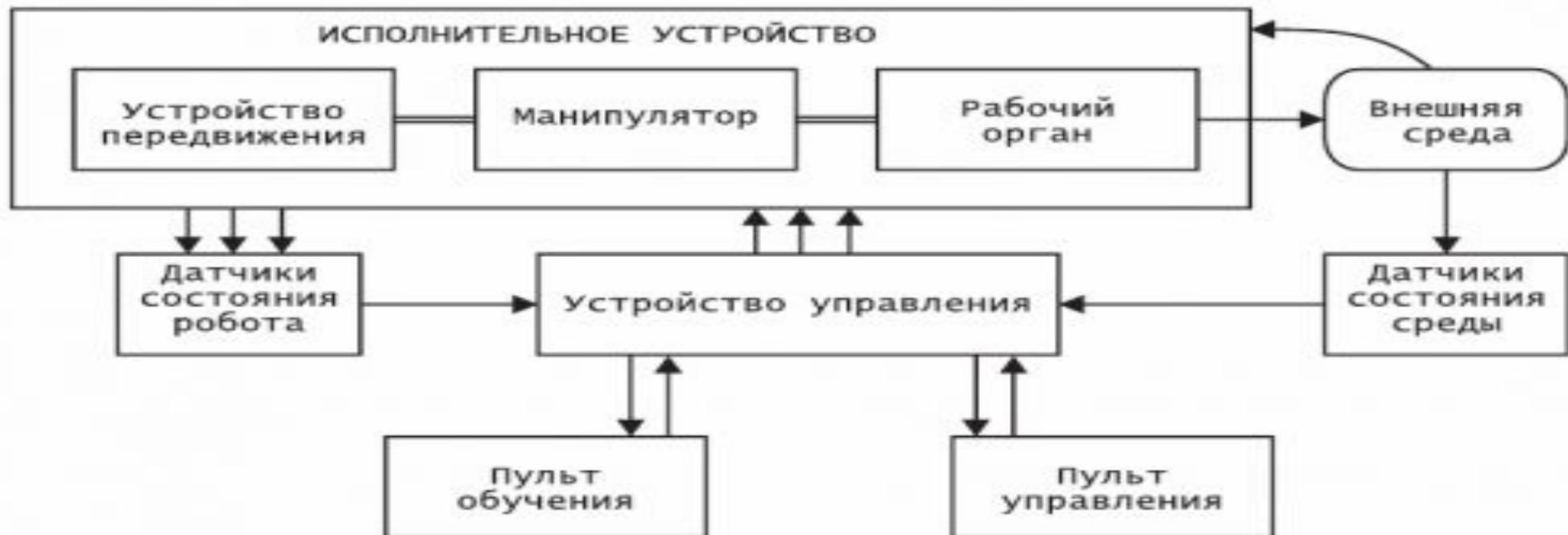
1. системно-элементного или системно-комплексного, состоящего в выявлении элементов, составляющих данную систему;
2. системно-структурного, заключающегося в выяснении внутренних связей и зависимостей между элементами данной системы и позволяющего получить представление о внутренней организации (строении) исследуемой системы;
3. системно-функционального, предполагающего выявление функций, для выполнения которых созданы и существуют соответствующие системы;
4. системно-целевого, означающего необходимость научного определения целей и подцелей системы, их взаимной увязки между собой;
5. системно-ресурсного, заключающегося в тщательном выявлении ресурсов, требующихся для функционирования системы, для решения системой той или иной проблемы;
6. системно-интеграционного, состоящего в определении совокупности качественных свойств системы, обеспечивающих её целостность и особенность;
7. системно-коммуникационного, означающего необходимость выявления внешних связей данной системы с другими, то есть, её связей с окружающей средой;
8. системно-исторического, позволяющего выяснить условия во времени возникновения исследуемой системы, пройденные ею этапы, современное состояние, а также возможные перспективы развития.

Облик. Как устроен робот

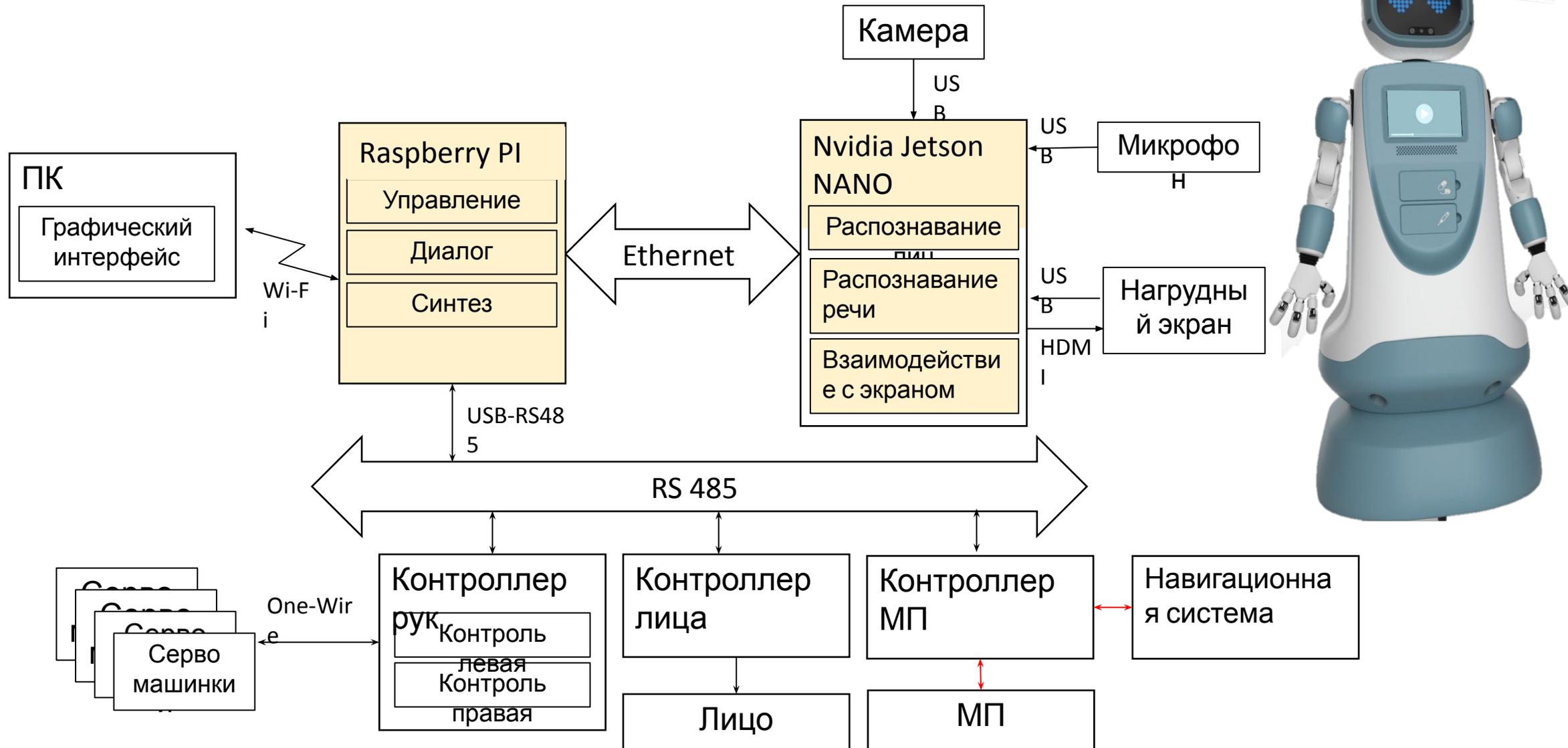
Облик – технический, эксплуатационный, экономический и т.д.

Технический облик – программно-аппаратный состав, структура, выполняемые функции, возможности, ограничения, показатели качества.

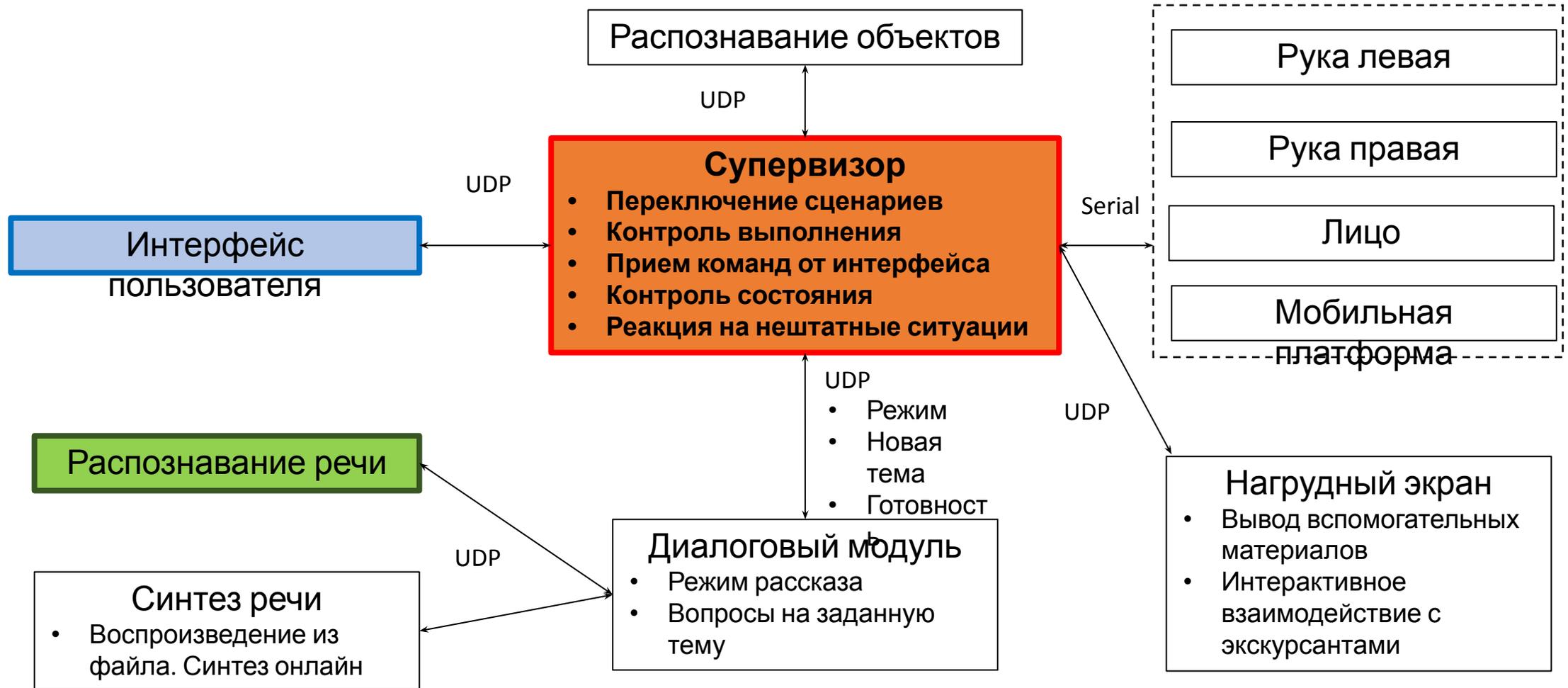
Структурная схема промышленного робота,



Пример аппаратной структуры

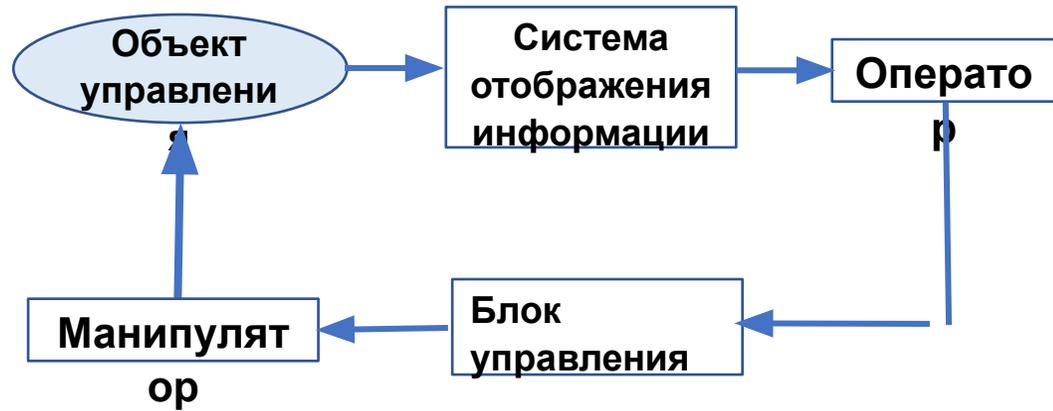


Вычислительная система

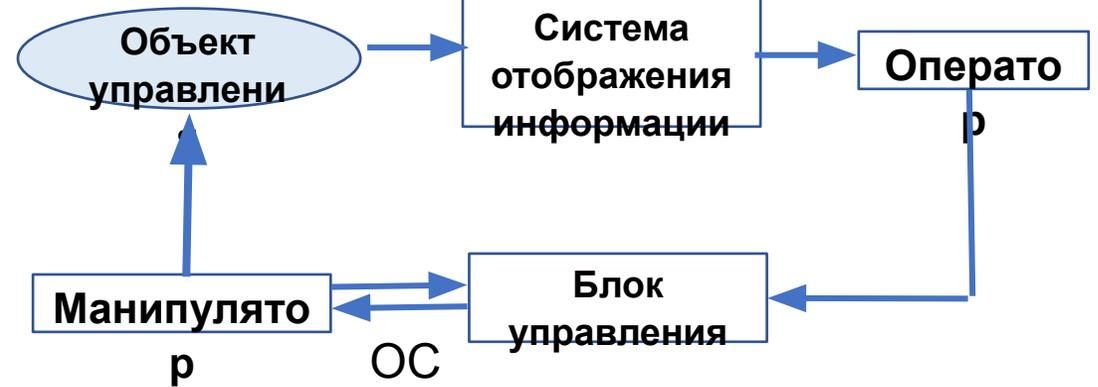


Системы управления роботами - манипуляторами

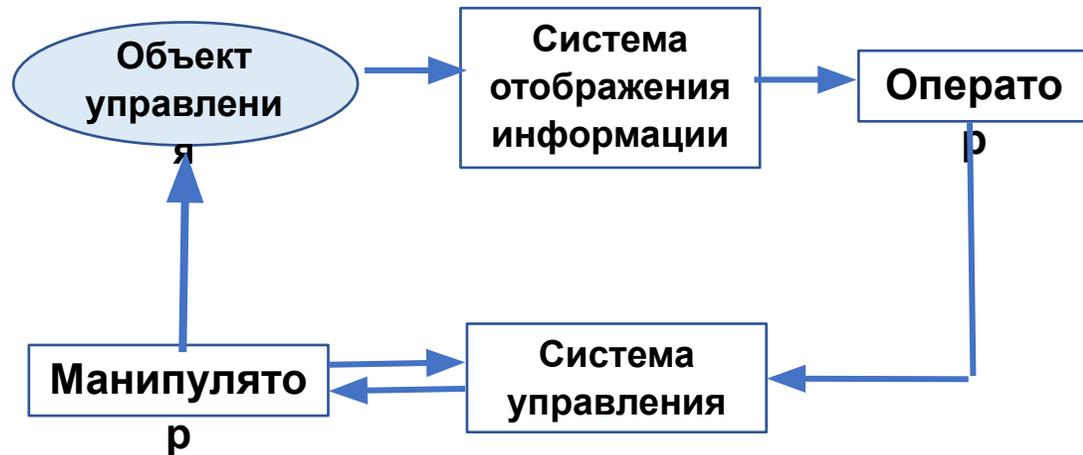
Командное управление



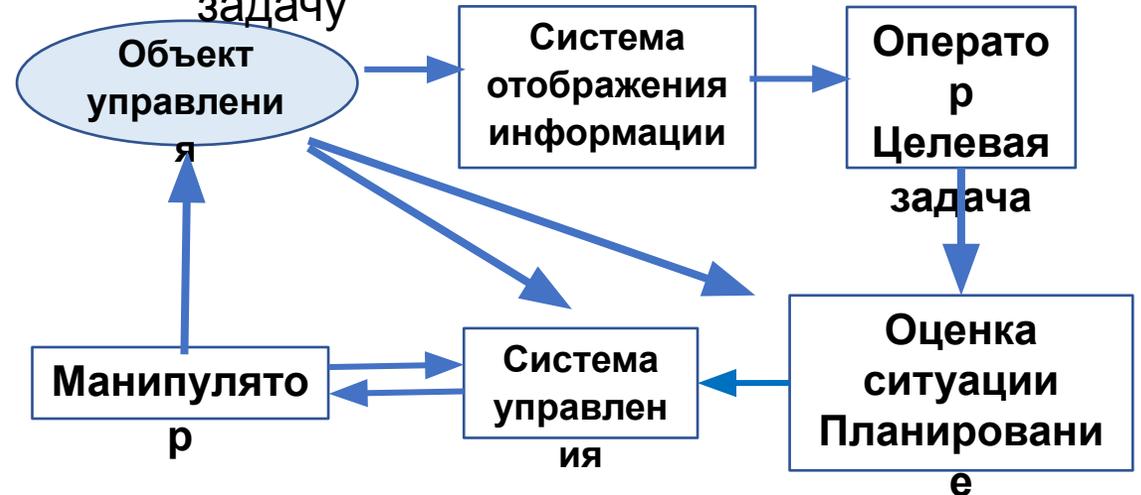
Копирующее управление



Полуавтоматическое управление Оператор управляет схватом



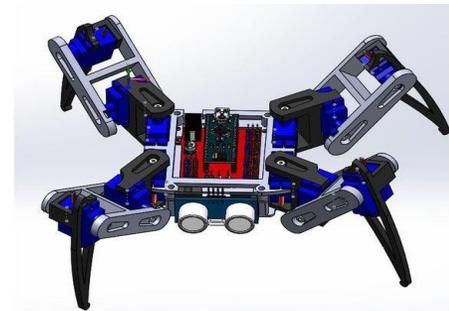
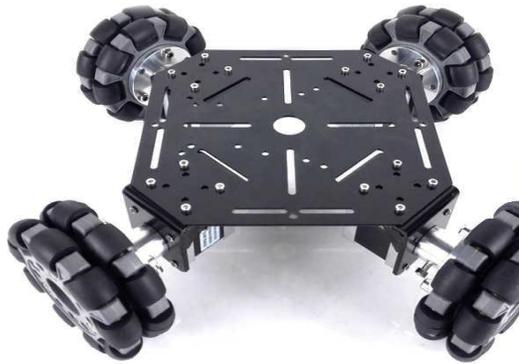
Автоматическое управление Оператор определяет целевую задачу



Подсистемы мобильного робота

Скорость, проходимость, грузоподъемность, маневренность – **МОБИЛЬНАЯ ПЛАТФОРМА (МП)**

Колесн



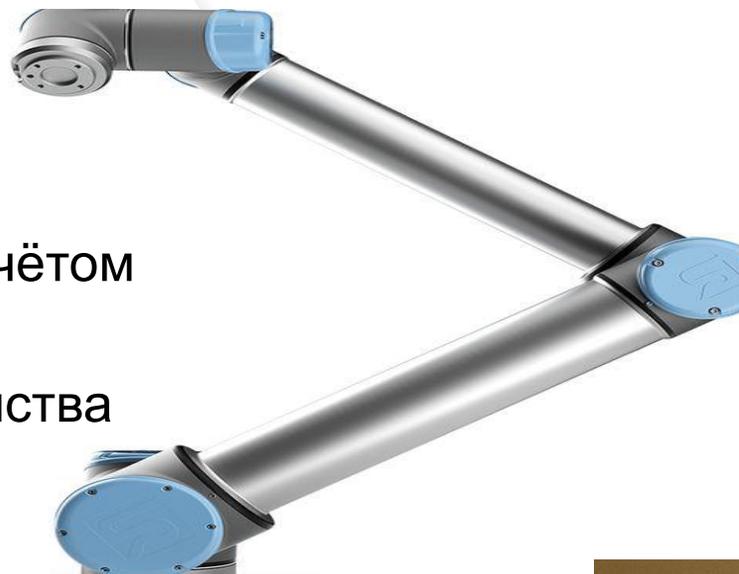
Гусеничн



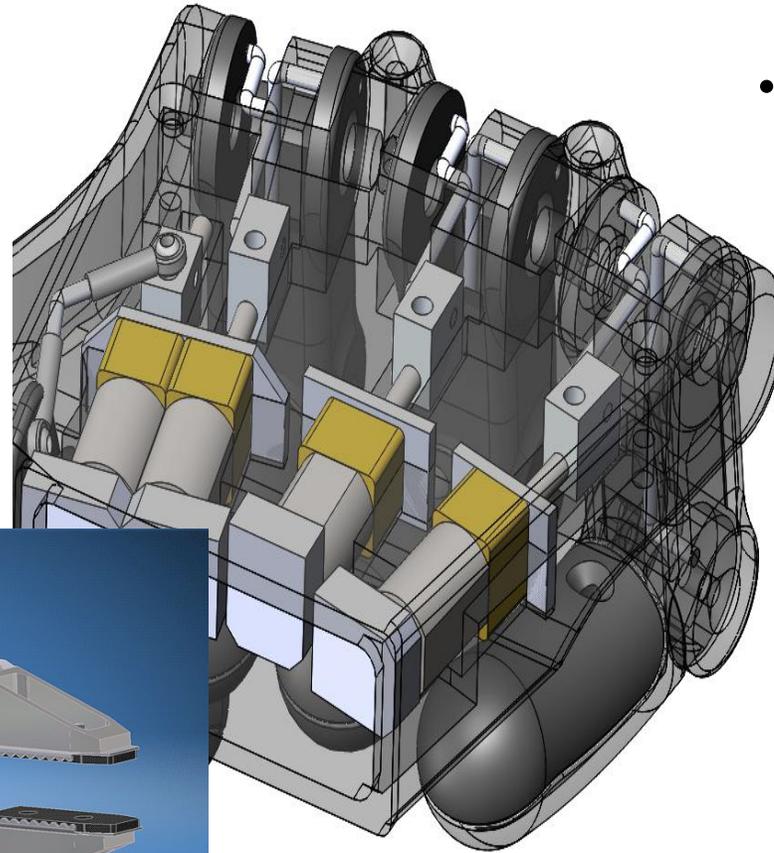
Шагающ ие

Манипулятор

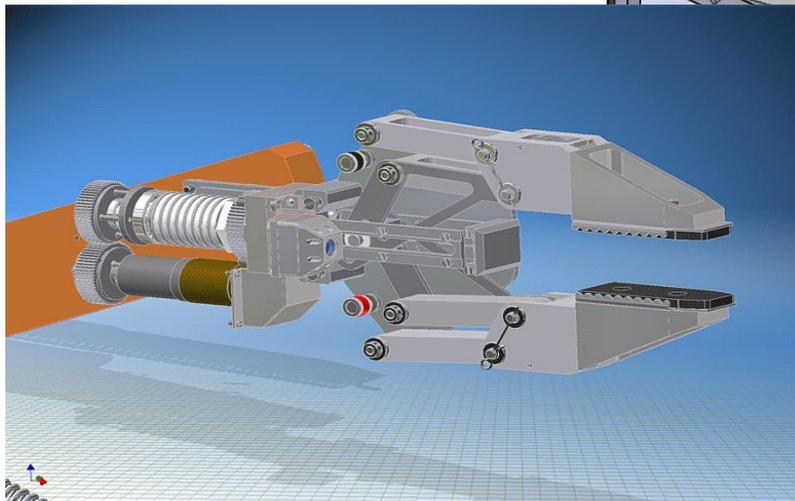
- Разработка манипулятора с учётом грузоподъёмности
- Разработка захватного устройства (схвата)
- Управление манипулятором
- Очувствление манипулятора



Варианты захватного устройства

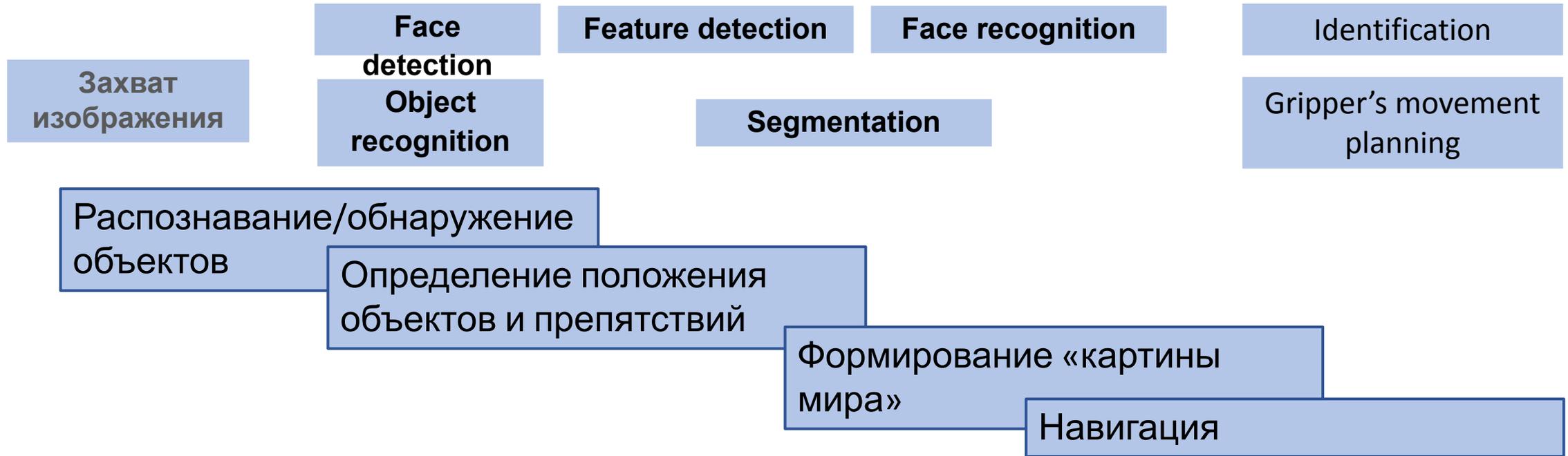
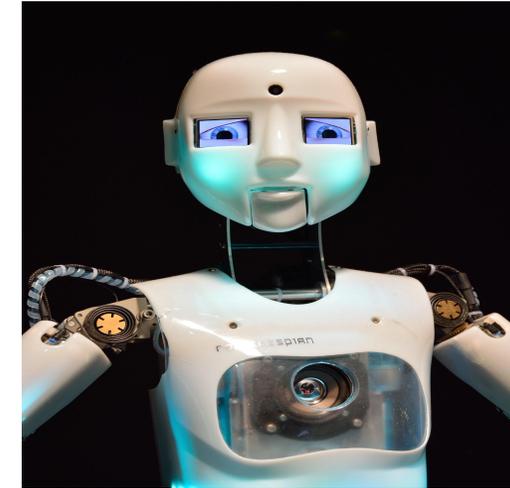


- Высокоточные приводы
- Системы параллельного, согласованного управления
- Датчики положения
- Очувствление манипулятора

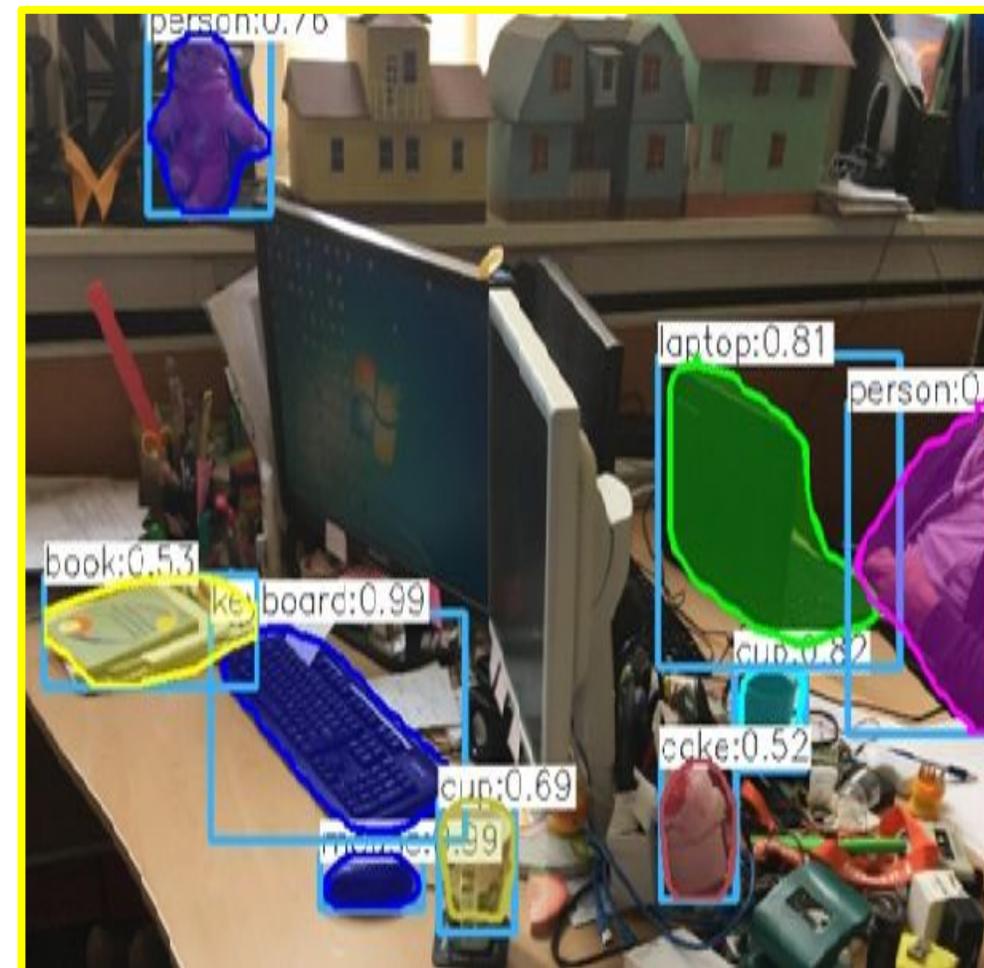


Зрение робота

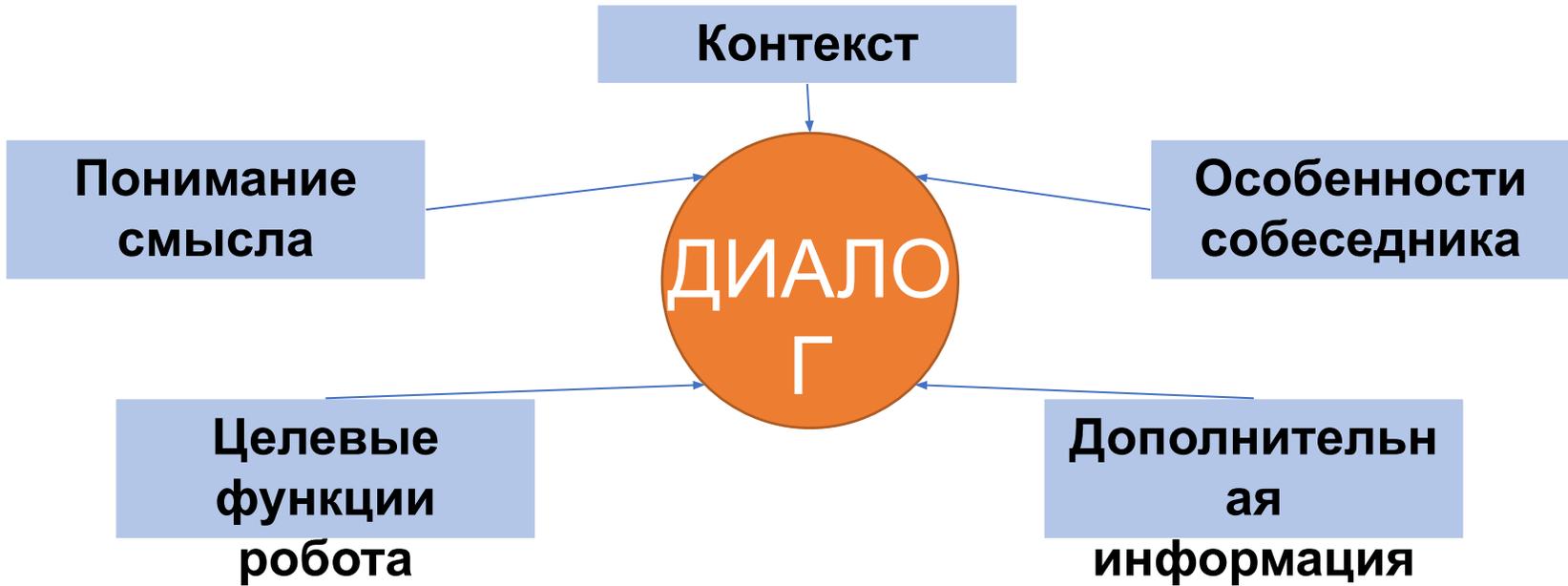
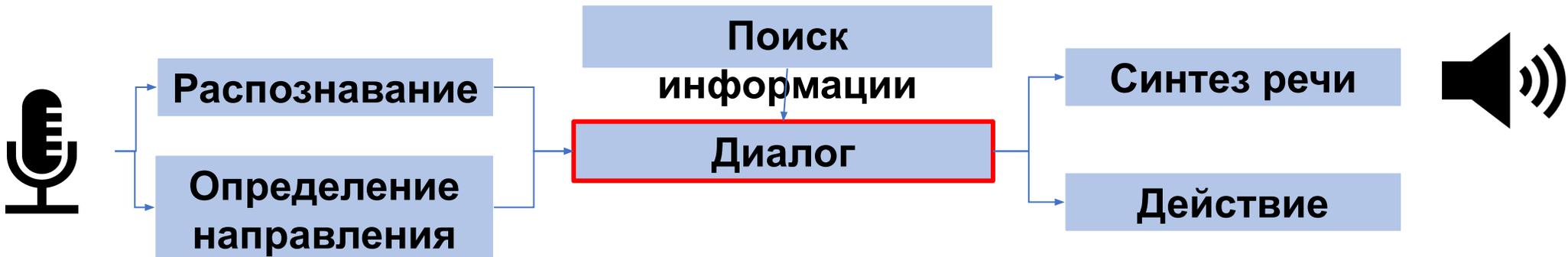
- Видео/мультиспектральные камеры
- Сенсоры глубины
- Лазерные сканеры
- Прочие датчики



Распознавание объектов



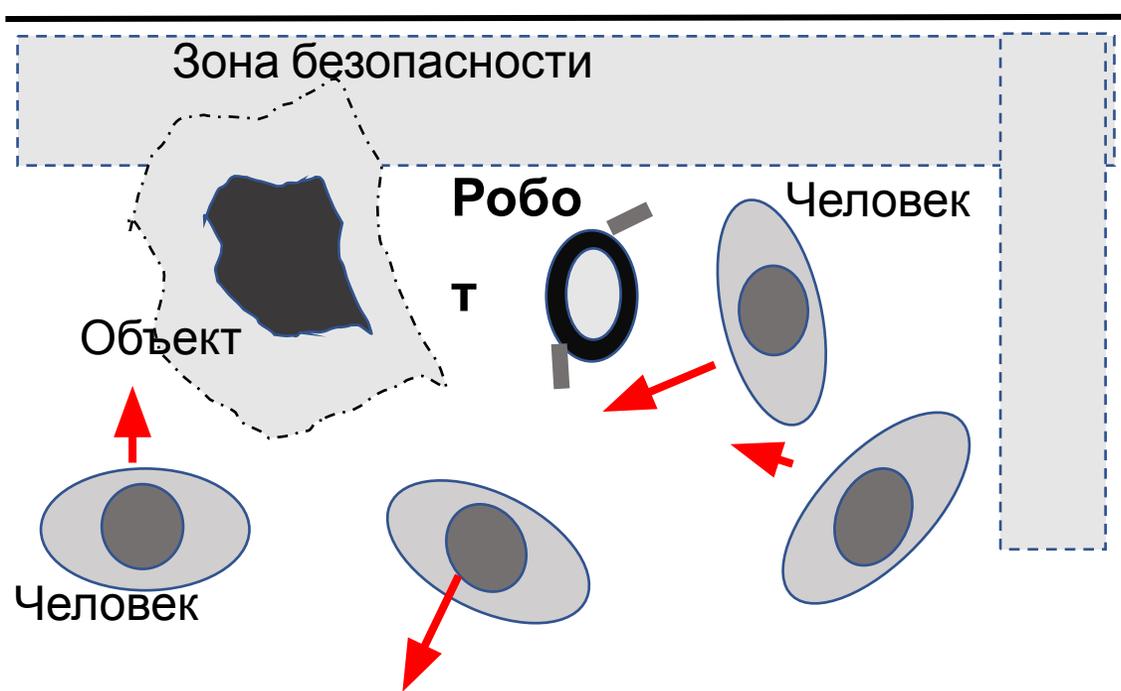
Речевое общение



Безопасность человека – основа робототехники

Коллаборативные роботы - коботы

При проектировании автономных роботов необходимо руководствоваться указаниями международного стандарта **ISO/TS 15066 “Robot and Robotic Devices – Collaborative robots”**, предусматривающего меры по обеспечению безопасности людей при их взаимодействии с роботами.



Факторы, влияющие на безопасность человека:

- допустимые усилия (силы, давление), возникающие при квази – статических контактах;
- допустимые усилия, возникающие при динамических контактах (transient contact);
- допустимая передача энергии от робота человеку.

Что должны уметь студенты

- Тестировать параметры, выявлять неисправности систем и подсистем (**Задача диагностики, анализа, исследования**);
- Проводить настройку и регулировку систем и подсистем (**Задача диагностики, анализа, исследования**);
- Оценивать и сравнивать параметры и показатели качества различных робототехнических систем и их подсистем (**Задача оценки, анализа, исследования**);
- Формировать программно-аппаратный облик робототехнической системы (**Задача проектирования**);
- Разрабатывать алгоритмы и программы контроля и управления робототехническими системами (**Задача проектирования**).

3. Критерии, показатели качества

Критерий (W_{Σ}) – признак, основание, правило принятия решения по оценке чего-либо на соответствие предъявленным требованиям.

Показатель качества (продукции) (W_i) — это количественная оценка одного или нескольких свойств продукции, входящих в её качество.

Показатели *назначения* (функциональные требования). Характеризуют способность продукции эффективно выполнять свою функцию. Их можно разделить на следующие группы:

- *требования производительности*. Включают показатели необходимой мощности, грузоподъемности, развиваемой скорости и другие, которые характеризуют выполняемую функцию;
- *требования эффективности*. Характеризуют степень эффективности использования изделия по назначению, например, показатели энергетические (КПД, потери), кинематические (точность перемещения), силовые (стабильность нагрузки) и т. п.;
- *конструктивные требования*. Характеризуют достоинства выбранной конструкции.

Например, функциональные ПК: ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ, НАДЕЖНОСТЬ, ТОЧНОСТЬ.

Пример общего критерия с ограничениями:

$$W_{o\Sigma} = \max (\text{или } \min) W_{\Sigma} (W_i) \text{ при } W_j < W_{jз} (\text{ограничения})$$

Скалярные критерии

Аддитивный критерий

Скалярные критерии - это критерии, которые позволяют сравнивать варианты в одной или нескольких измерениях. При этом критерии могут быть аддитивными, то есть суммируемыми, или неаддитивными, то есть не суммируемыми.

Аддитивный критерий

$$\sum_j W_j a_{ij} = W_i$$

a_{ij} - вес части критерия j

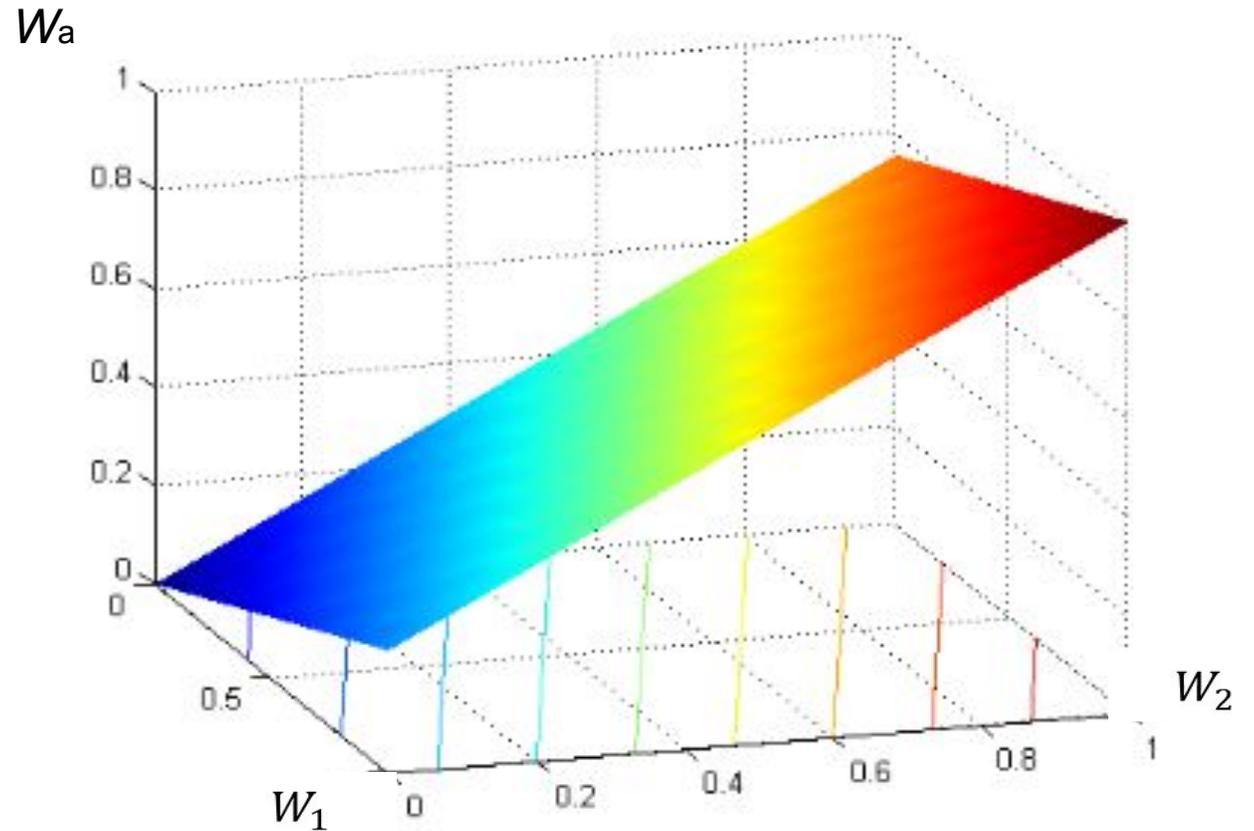
W_j - значение части критерия j

Преимущества: возможность

различия в важности критериев.

Недостатки: субъективность

взвешивания критериев.



Если повышение качества соответствует увеличению значения ПК, то критерий максимизируется.

Скалярные критерии

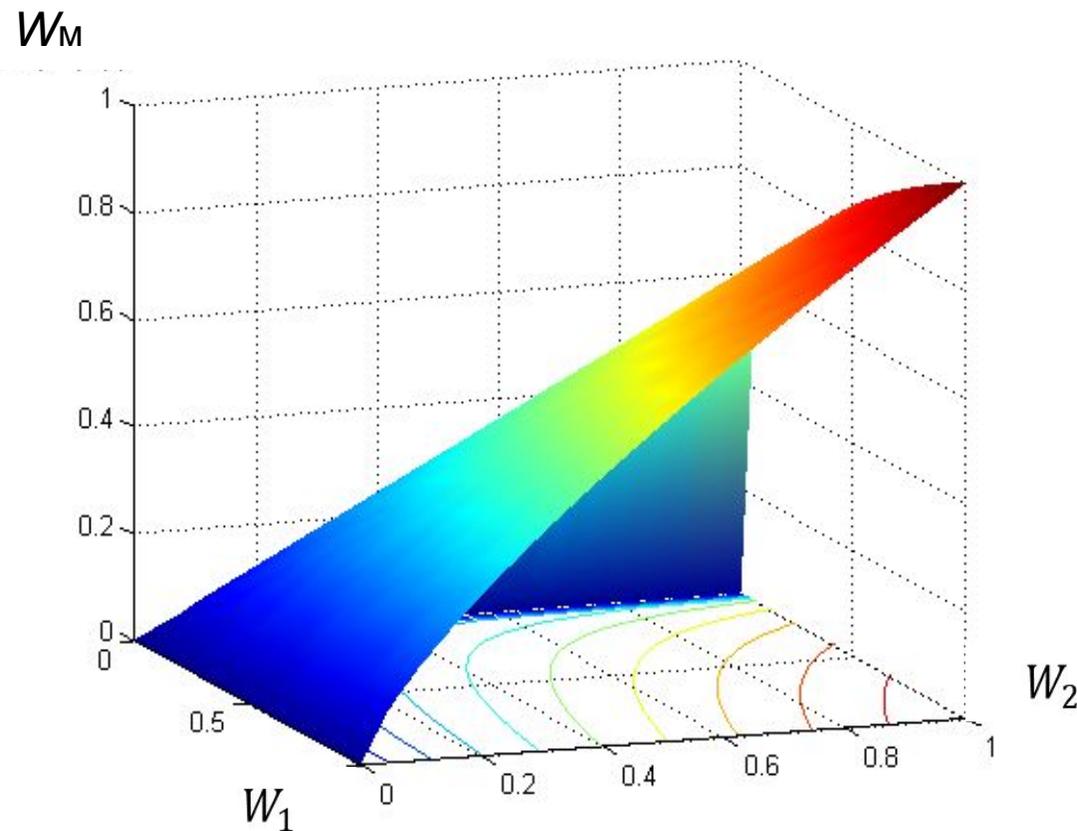
Мультипликативный критерий

$$W_M = \prod_i W_i / \prod_j W_j \rightarrow \max$$

W_i – значение частного критерия,
 i – индекс ПК, значения которых пропорциональны эффективности (надежности, точности и пр.),
 j – индекс ПК, значения которых обратно пропорциональны эффективности (надежности, точности и пр.),

Преимущества: используется без назначения весовых коэффициентов.

Недостатки: ограниченная область применения.



Скалярные критерии

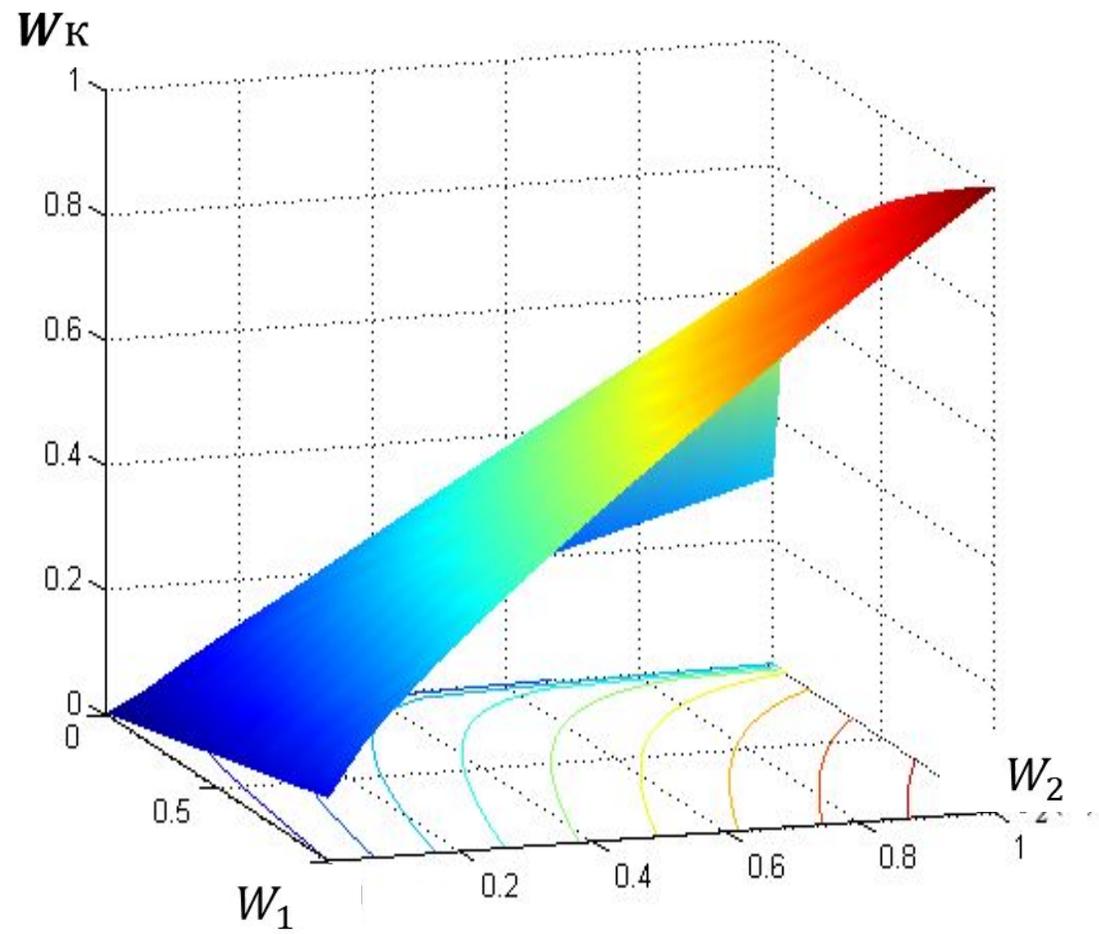
Аддитивно - мультипликативный критерий

$$W_K = \sum_i a_i W_i + (1-\beta) \prod_i W_i$$

a_i – вес частного критерия,

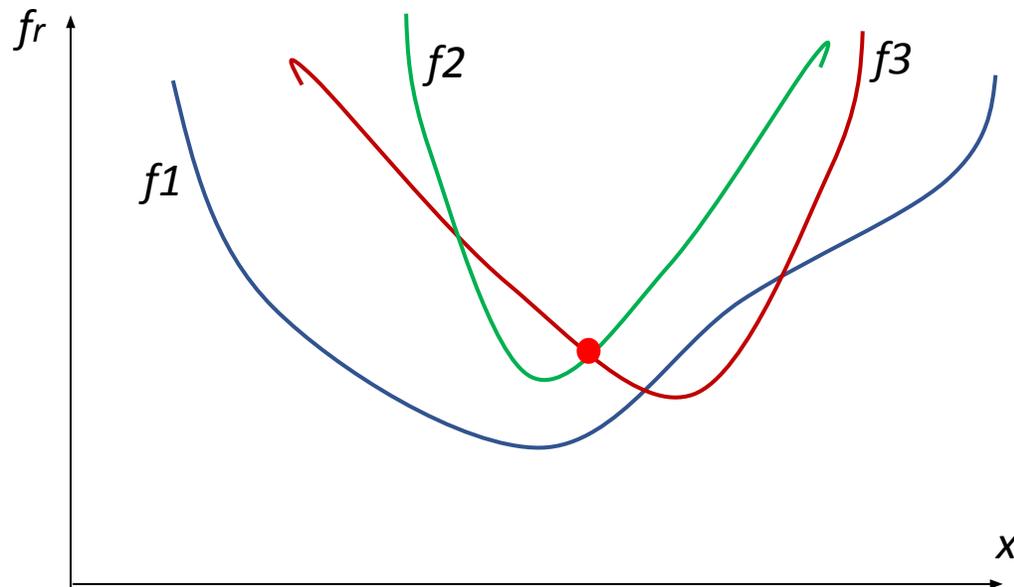
W_i – значение частного критерия,

β - адаптационный параметр.



Векторные критерии

Использование векторных критериев позволяет выбрать веса критериев без участия оператора. Векторные критерии основаны на анализе данных полученных после проведения расчетов поиска оптимального пути с применением различных весов частных критериев. Это значит, что при использовании векторных критериев будут затрачены большие вычислительные ресурсы относительно вычисления оптимального пути на основе весов, заданных оператором.



Методы расчета

1. Метод ограничений. Выбор одного ПК, остальные — в ограничения
2. Метод последовательных уступок. Оптимизация 1-го ПК — уступка (назначается), оптимизация 2-го — уступка, ... (возможно ранжирование)
3. Метод назначения допусков (областей допустимых решений)
4. Метод Парето

Метод ограничений

По методу изменения ограничений одну из целевых функций оставляют в качестве целевой, а остальные превращают в ограничения. То есть, пусть f_r будет целевой, а остальные $f_1 \dots f_{r-1}$ представим как ограничение неравенства:

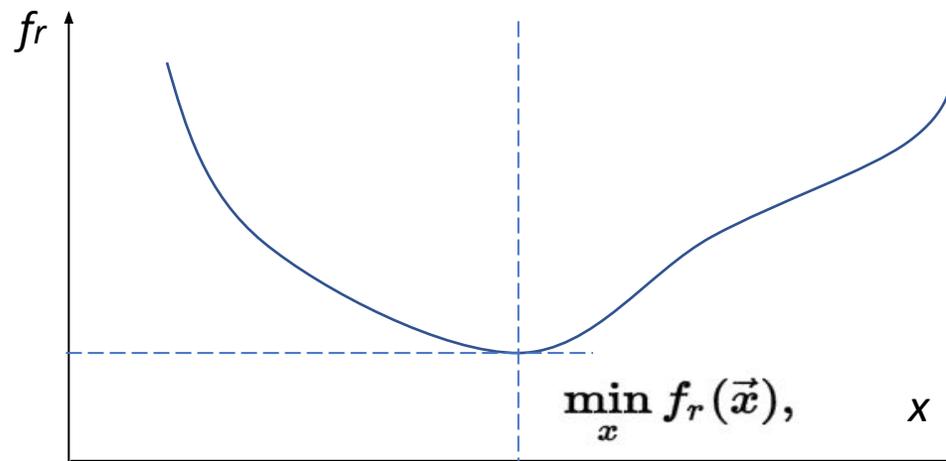
$$\min_x f_r(\vec{x}),$$

при условии:

$$f_i(\vec{x}) \leq \varepsilon_i, i = 1, \dots, r-1,$$

где ε_i – допустимые значения для $f_1 \dots f_{r-1}$.

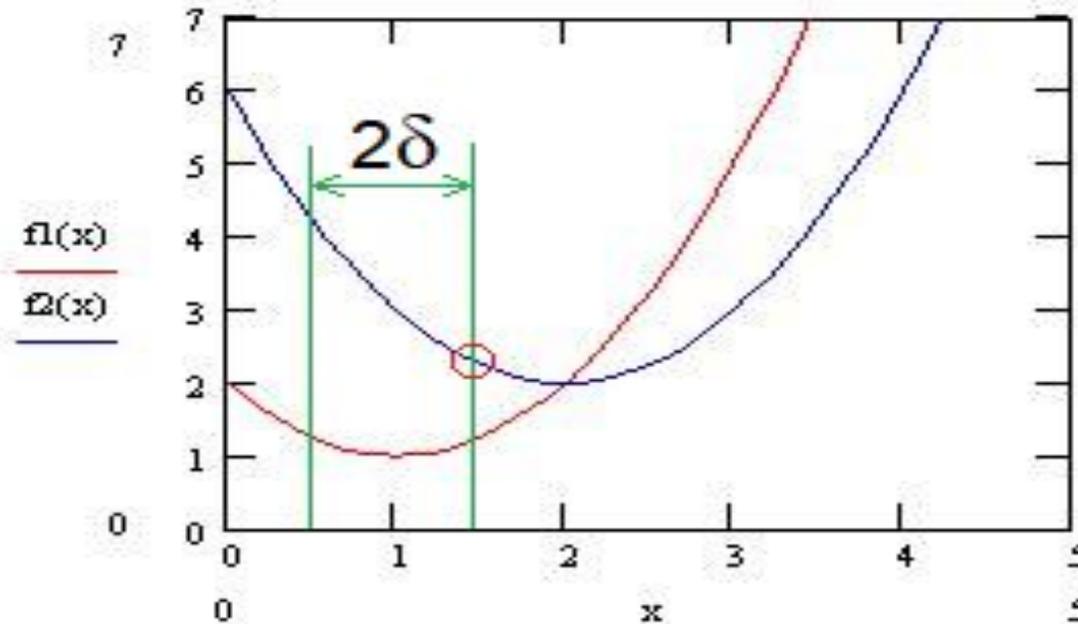
Для использования данного критерия необходимо выбрать частный критерий, который будет основным, что может не подходить по условиям поставленной задачи.



Метод последовательных уступок

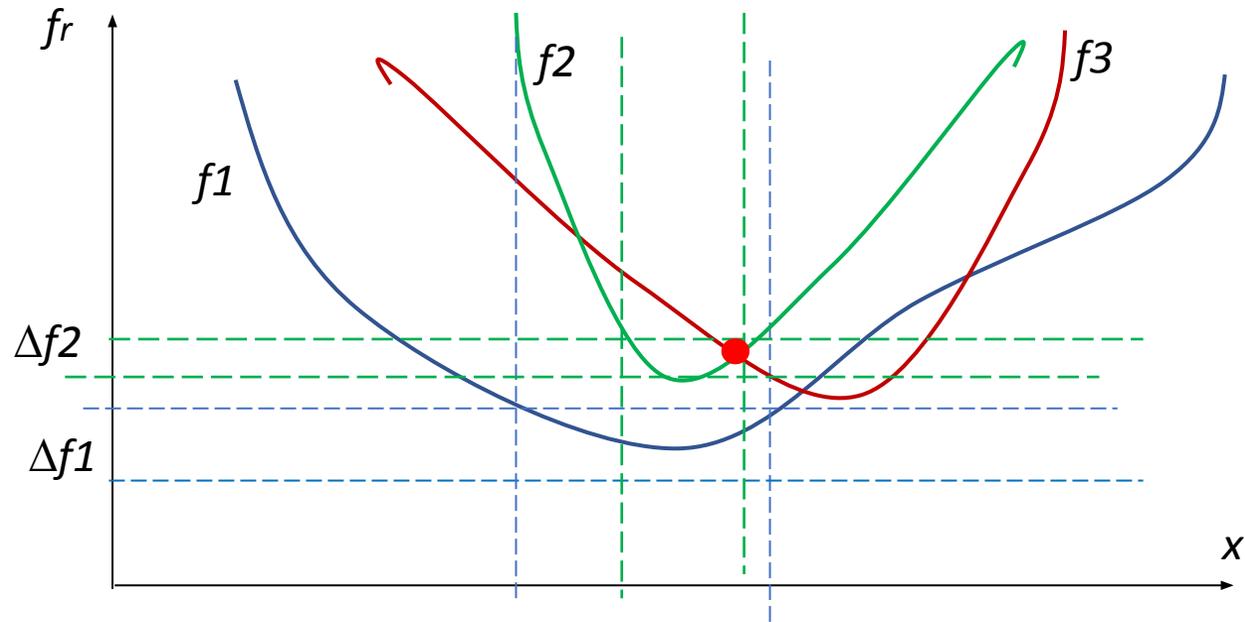
Данный метод применяется в случае, когда частные критерии могут быть упорядочены в порядке убывающей важности, все критерии должны быть максимизированы и пронумерованы в порядке убывания их важности. Алгоритм:

- 1) Вначале определяется максимальное значение первого по важности критерия Z_1
- 2) Назначается, исходя из практических соображений и принятой точности, величина допустимого отклонения $\delta_1 > 0$ и отыскивается максимальное значение второго критерия Z_2 , при условии, что значение первого должно отклоняться от максимального не более чем на величину допустимой уступки
- 3) Снова назначается величина уступки $\delta_2 > 0$ и отыскивается максимальное значение третьего критерия Z_3
- 4) ...



Метод назначения допусков (областей допустимых решений)

- 1) Вначале определяется область допуска для первого по важности критерия ; Δf_1
- 2) Соответствующая область Δx_1 проецируется на следующий критерий и в ней выделяется допуск Δf_2 ;
- 3) Если используется 3 критерия, то в области Δx_2 находится минимальное значение f_3



Оптимизация по Парето

Оптимальность по Парето — такое состояние некоторой системы, при котором значение каждого частного показателя, характеризующего систему, не может быть улучшено без ухудшения других.

Рассмотрим алгоритм поиска оптимального решения по Парето:

Пусть имеется n критериев, найдем некоторое решение задачи. Обозначим его через x и предположим, что существует другое решение x_2 , такое, что для всех критериев $f_i(x_2)$ имеют место неравенства

$$f(x_2) > f(x) \quad (i = 1, n),$$

причем хотя бы одно неравенство строгое.

В этом случае решение x_2 приоритетнее, чем x . Поэтому все x , которые удовлетворяют указанному неравенству, надо отбросить и в дальнейшем следует анализировать только те x_2 , для которых не существует x , чтобы выполнялось указанное неравенство.

Множеством Парето при n критериях $f_i(x)$ на максимум называется множество таких x , для которых не существует такого x_2 , чтобы выполнялось неравенство

$$f(x_2) > f(x),$$

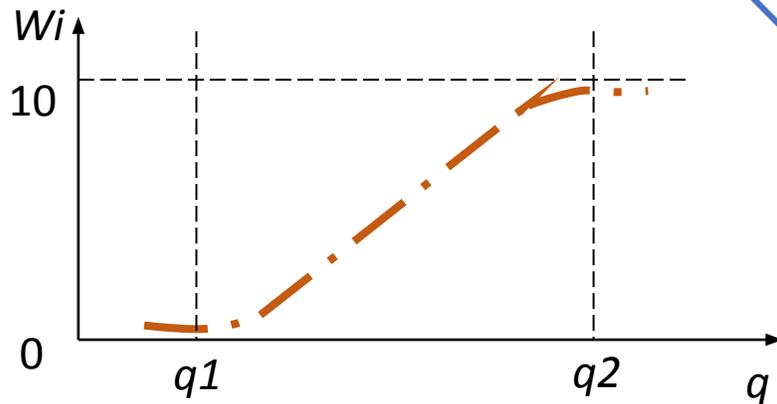
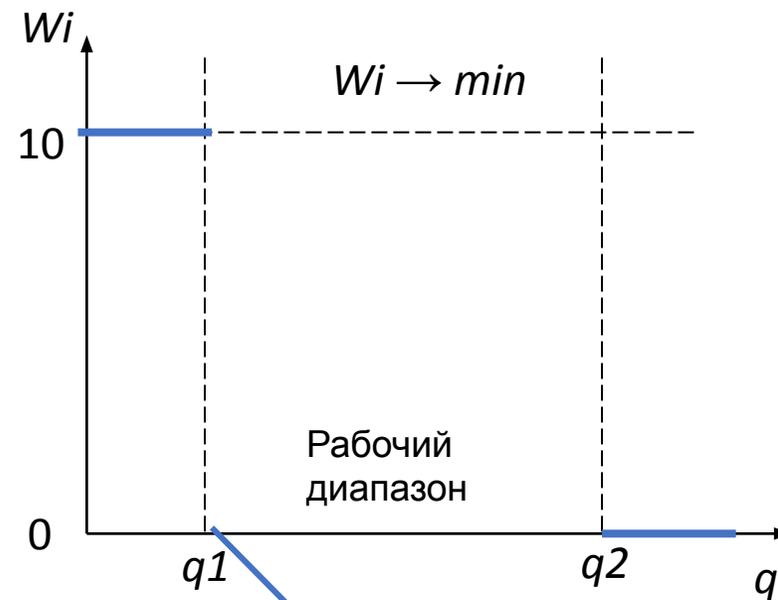
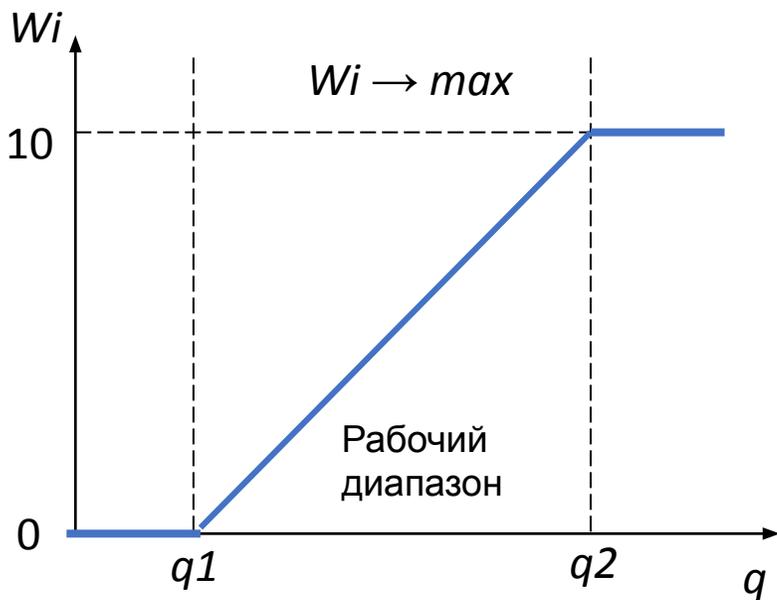
причем хотя бы одно неравенство строгое.

Оптимум по Парето подразумевает, что суммарное благосостояние общества достигает максимума, а распределение благ и ресурсов становится оптимальным, если любое изменение этого распределения ухудшает благосостояние хотя бы одного субъекта экономической системы.

Парето-оптимальное состояние рынка — ситуация, когда нельзя улучшить положение любого участника экономического процесса, одновременно не снижая благосостояния как минимум одного из остальных.

Согласно критерию Парето (критерию роста общественного благосостояния), движение в сторону оптимума возможно лишь при таком распределении ресурсов, которое увеличивает благосостояние по крайней мере одного человека, не нанося ущерба никому другому.

Оценка частных показателей качества W_i



Производительность, быстродействие систем

$W_{\text{пр}} = V_{\text{н}} * B_{\text{м}}$ км²/ч - производительность систем мониторинга

$V_{\text{н}}$ – скорость носителя, $B_{\text{м}}$ – ширина обследуемой полосы мониторинга

$W_{\text{пр}} = V_{\text{н}} * B_{\text{у}}$ км²/ч - производительность систем уборки, например, робот-пылесос

$V_{\text{н}}$ – скорость носителя, $B_{\text{у}}$ – ширина убираемой полосы

$W_{\text{пр}} = V_{\text{н}} * B_{\text{т}}$ ткм/ч - производительность систем транспорта, например, автомобиля, трубопровода

$V_{\text{н}}$ – скорость носителя, $B_{\text{т}}$ – вес транспортируемого груза

$W_{\text{пр}} = N$ выстр/с - производительность стрельбы (скорострельность)

$W_{\text{пр}} = N$ дет/смена - производительность станка

Критерий производительности

$$W_{\theta\Sigma} = \max (\text{или } \min) W_{\Sigma} (W_i) \quad \text{при } W_j < W_{j3} \text{ (ограничения)}$$

$$W_{np} \rightarrow \mathbf{max}, \text{ при } W_j < W_{j3}$$

Например 1, максимизация производительности систем уборки робота-пылесоса

$$W_{np} = V_n * B_y \rightarrow \mathbf{max}, \quad \text{при чистоте уборки не менее 8 баллов,}$$

где V_n – скорость носителя, B_y – ширина убираемой полосы

Например 2, максимизация скорострельности

$$W_{np} = N \rightarrow \mathbf{max}, \quad \text{при точности стрельбы не хуже } \pm 3\sigma \geq 2\text{м на расстоянии не менее } 1500\text{ м}$$

4. ПК. Надежность ТС

Надежностью называется свойство объекта (изделия) выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в требуемых пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования.

К основным понятиям надежности относятся **работоспособность и отказ**.

Работоспособность состояние объекта, при котором он способен выполнять требуемые функции, сохраняя значения заданных параметров в пределах, установленных документацией.

Событие, заключающееся в нарушении работоспособности объекта, называется отказом. Отказы классифицируются:

- по объему: полный, частичный, катастрофический, постепенный частичный;
- по характеру изменений: постепенный, внезапный, перемежающийся;
- по нагрузке: зависимый, независимый;
- по времени появления: приработочный, случайный, в результате старения, систематический;
- по причине возникновения: конструкционный, производственный, эксплуатационный.

Постепенные отказы, характеризуются постепенным изменением погрешности выходного сигнала. Основными причинами постепенных отказов являются износ и старение элементов ТС.

Под внезапными отказами понимаются отказы, сопровождаемые скачкообразным изменением погрешности выходного сигнала на величину, превышающую допустимую. Причинами подобных отказов могут быть механические поломки деталей, заклинивание, обрывы или короткие замыкания электрических цепей, отключение источников питания и пр.

Основные свойства объектов

Безотказность – свойство объекта непрерывно сохранять работоспособность в течение некоторого времени или некоторой наработки

Ремонтопригодность – свойство объекта, заключающееся в приспособленности к предупреждению и обнаружению возможных причин возникновения отказа, повреждения и устранение последствий возникшего отказа или повреждения путем ремонта или технического обслуживания.

Сохраняемость – свойство непрерывно находится в исправном состоянии при хранении или транспортировании.

Прочность (вибропрочность, ударная прочность и пр.) – И (изделие) сохраняет работоспособность после воздействия.

Устойчивость (виброустойчивость, ударная устойчивость и пр.) – И сохраняет работоспособность во время воздействия.

Показатели надежности

Основными показателями надежности являются:

$P(t)$ – вероятность безотказной работы за время t ;

$Q(T)$ – вероятность отказов;

$\lambda(t)$ – интенсивность отказов;

$f(t)$ – плотность распределения наработки на отказ;

T – средняя наработка на отказ (математическое ожидание наработки объекта до первого отказа).

Влияние условий эксплуатации учитывается поправочным коэффициентом (увеличивающим фактическое значение интенсивности отказов), который в лабораторных условиях принимается приблизительно равным – 1, в стационарных надежных условиях – 10, на автомобильном транспорте – 25, на летательных аппаратах – 120...1000.

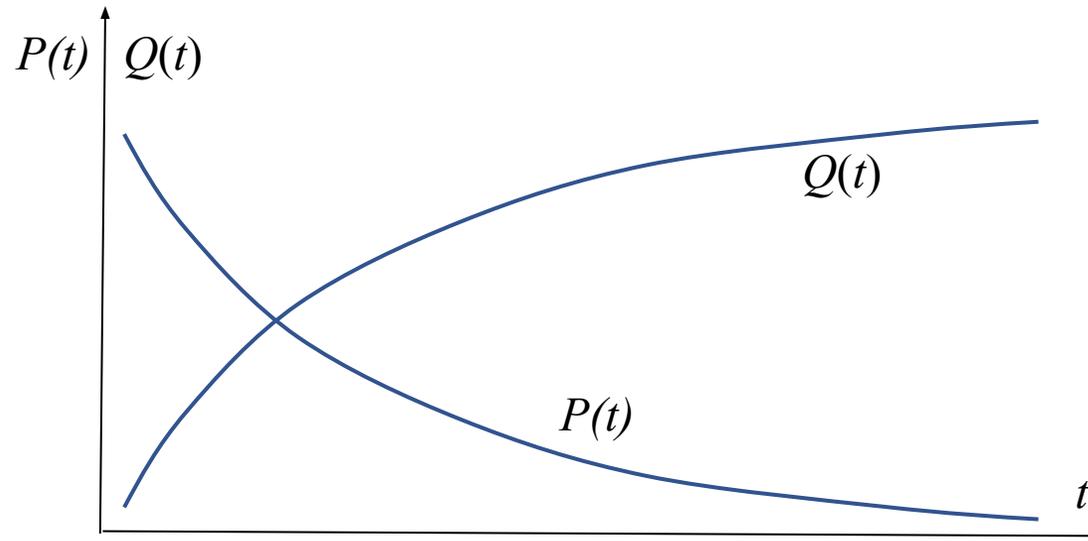
$P(t)$ – вероятность безотказной работы за время t .

$$P^*(t) = \frac{N(t)}{N_0} = \frac{N_0 - n(t)}{N_0},$$

где N_0 – общее число образцов, $N(t)$ – число исправно работающих образцов в момент времени t ,

$n(t)$ – число отказавших образцов в момент времени t .

$Q(t) = 1 - P(t)$ – вероятность отказа.



$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}$ – **интенсивность отказов**, где $f(t)$ – плотность распределения времени безотказной работы.

$$\lambda^*(t) = \frac{n(t,t+\Delta t)}{N_{cp}\Delta t}, \quad f^*(t) = \frac{n(t,t+\Delta t)}{N_0\Delta t},$$

где $n(t, t + \Delta t)$ – число образцов, отказавших за промежуток времени $[t, t + \Delta t]$, N_{cp} – среднее число исправно работающих образцов на интервале времени $[t, t + \Delta t]$.

Кривая интенсивности отказов многих конструктивных элементов и систем имеет горизонтальный (рабочий) участок, на котором эта интенсивность постоянна. Поэтому в ряде практических случаев принимается, что на рабочем участке $\lambda(t) = \lambda = \text{const}$.



Средняя наработка на отказ (среднее время наработки на отказ) $T = 1/\lambda$.

$$T^* = \frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^{N_0} t_i.$$

Перечисленные важнейшие свойства надежности характеризуют определенные технические состояния объекта.

Различают пять основных видов технического состояния объектов.

Исправное состояние – состояние объекта, при котором он соответствует всем требованиям нормативно-технической и проектной документации.

Неисправное состояние – состояние объекта, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований нормативно-технической и проектной документации.

Работоспособное состояние – состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и проектной документации.

Неработоспособное состояние – состояние объекта, при котором значения хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствуют требованиям нормативно-технической и проектной документации.

Предельное состояние – состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.

При расчете надежности приборов используются заранее известные значения интенсивностей отказов для отдельных элементов и соединений. В качестве примера ниже приведены некоторые значения максимальных, средних и минимальных значений интенсивности отказов для электрических, электромагнитных и механических элементов и соединений [1/млн.ч] (1 млн.ч. – более 100 лет):

Выключатель	0,4	0,14	0,04
Выпрямитель	0,8	0,6	0,3
Диод	1,4	0,2	0,1
Изоляция	0,08	0,05	0,03
Кабель	0,17	0,02	0,002
Катушка индуктивности	0,09	0,05	0,04
Катушка обмоток двигателя	.05	.03	0.01
Конденсатор		1,6	
Контакт	0,4	0,25	0,1
Потенциометр	2,5	3,0	0,7
Реле электромагнитное	0,5	0,2	0,1
Сервомеханизм	3,4	2,0	1,1
Трансформатор	0,55	0,3	0,25
Триод		0,4	
Штепсельный разъем	0,7	0,17	0,1
Электродвигатель	7,5	0,62	0,15
Амортизатор	3,2	1,0	0,3
Муфта электромагнитная	0,9	0,6	0,45
Передача зубчатая	0,2	0,12	0,01
Подшипник качен./скольж.	1,0/0,4	0,5/0,2	0,02/0,08
Пружина	0,22	0,11	0,004
Соединение гибкое/жесткое	1,3/0,05	0,7/0,02	0,03/0,001
Соединение механ./шарнир.	2,0/4,0	0,02/2,4	0,01/0,8
Уплотнение вращающ./скольз.	1,1/0,9	0,7/0,3	0,2/0,1

Надежность системы

Для последовательного соединения

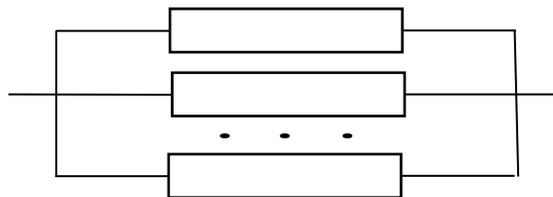


Вероятность безотказной работы $P = \prod_{i=1}^N P_i$.

Пример: $P_1 = 0,8$; $P_2 = 0,9$; $P_3 = 0,85$; $P_4 = 0,95$.

$$P = 0,5814$$

Для параллельного соединения



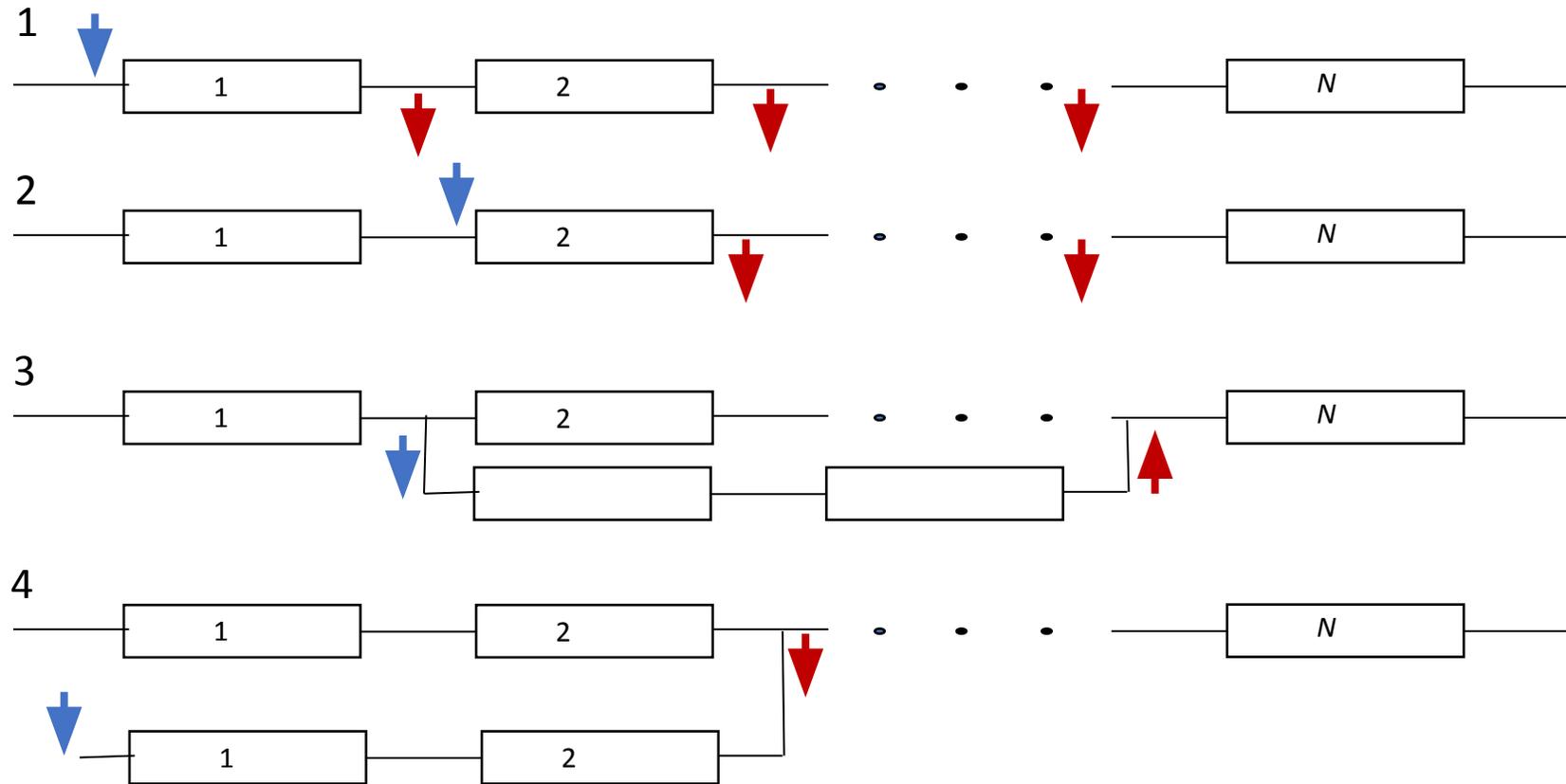
Вероятность безотказной работы $P = 1 - \prod_{i=1}^N Q_i$.

Пример: $P_1 = 0,8$; $P_2 = 0,9$; $P_3 = 0,85$; $P_4 = 0,95$.

$Q_1 = 0,2$; $Q_2 = 0,1$; $Q_3 = 0,15$; $Q_4 = 0,05$.

$$P = 0,99985$$

Поиск неисправностей



При большом количестве элементов поиск неисправностей (диагностика), в частности, случайных отказов, становится дорогостоящим и трудоемким.

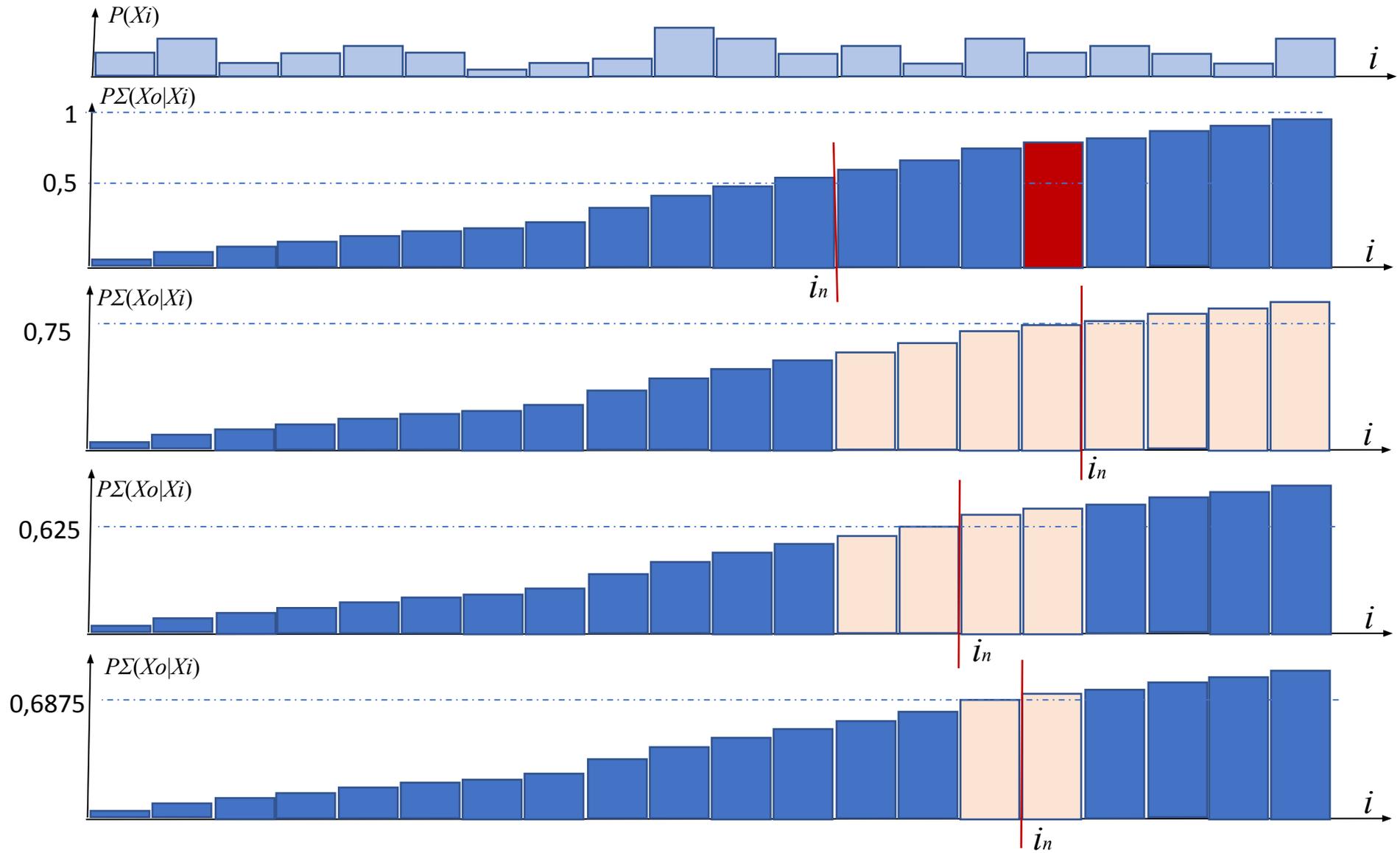
Поиск неисправностей

Пусть известны априорные вероятности отказов всех элементов (подсистем) $P(X_i)$ и можно рассчитать вероятности $P(X_o|X_i)$, где X_i – отказ i -го элемента, X_o – отказ всей системы.

Оптимальный маршрут поиска неисправностей (метод дихотомии) при отказе системы строится по следующему алгоритму:

1. Построение интегрального закона $P_{\Sigma}(X_o|X_i)$ при $i = 1, 2, \dots, N$;
2. Деление $P_{\Sigma}(X_o|X_i)$ пополам (на 1-м шаге выбирается точка (i_n) на $P_{\Sigma}(X_o|X_i) = 0,5$);
3. В точке (i_n) определяются работоспособная и неработоспособная области;
4. Неработоспособная область $P_{\Sigma}(X_o|X_i)$ делится пополам (выбирается очередная точка (i_n));
5. Пункты 3, 4 повторяются до выявления отказавшего элемента.

Маршрут поиска неисправностей



Методы повышения надежности

Выделяют три группы методов:

1. **Конструктивно-технологические методы**, включающие мероприятия, учитывающие условия работы ТС.

Например, защита от воздействия влаги, пыли, песка, пониженного давления, ослабления тепловых режимов (теплоотводом, охлаждением) и т.д.. Конструктивное улучшение условий работы наименее надежных элементов: ослабление механических напряжений в наиболее нагруженных элементах конструкции, исключение трущихся деталей, разгрузка мест пайки и пр..

2. **Методы технической диагностики** основаны на применении различных систем контроля функционирования ТС, позволяющих диагностировать отказы ТС: через определенные интервалы времени (регламентный контроль); перед началом эксплуатации, перед полетом ЛА (предстартовый или предполетный контроль); в процессе эксплуатации, полета ЛА (встроенный контроль).

Важным направлением среди методов технической диагностики является разработка и внедрение автоматических средств встроенного контроля (в том числе дистанционных, например, акустических, вибрационных и пр.), которые помогают не только выявлять отказы ТС, но также определять и ликвидировать возможные причины появления отказов, существенно повышая надежность ТС.

Методы повышения надежности

3. Структурные методы делятся на две подгруппы:

Методы, основанные на оптимизации структуры ТС без применения функциональной избыточности. Например, использование отрицательных обратных связей в системах для повышения стабильности их работы.

Методы, основанные на введении функциональной избыточности (резервирование, комплексирование и др.).

Например, для обеспечения заданной надежности ТС может включать один основной элемент и $(m-1)$ параллельно включенных резервных элементов. При этом если резервные элементы постоянно выполняют заданные функции, то говорят о нагруженном (горячем) резервировании, а если основной элемент заменяется резервным только при наличии отказа, то имеет место ненагруженный (холодный) резерв.

- Пусть, требуемая вероятность безотказной работы ТС за время T_0 , состоящей из 3-х последовательно соединенных рабочих элементов, равна $P(t \geq T_0) = P_0 = 0,95$ (требуемая вероятность отказов $Q_0 = 1 - P_0 = 0,05$).

Вероятности безотказной работы элементов (при $t \geq T_0$) соответственно равны

$$P_1 = 0,9; P_2 = 0,8; P_3 = 0,95.$$

Вероятность безотказной работы системы с последовательно соединенными зарезервированным элементами равна

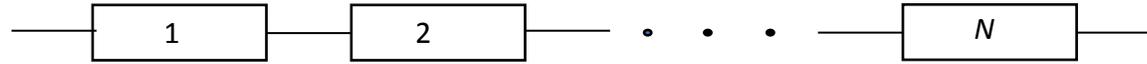
$$P_r = \prod_{i=1}^N P_{ri} \geq P_0,$$

где P_r - вероятность безотказной работы зарезервированной системы, P_{ri} - вероятности безотказной работы i -го зарезервированного элемента из N .

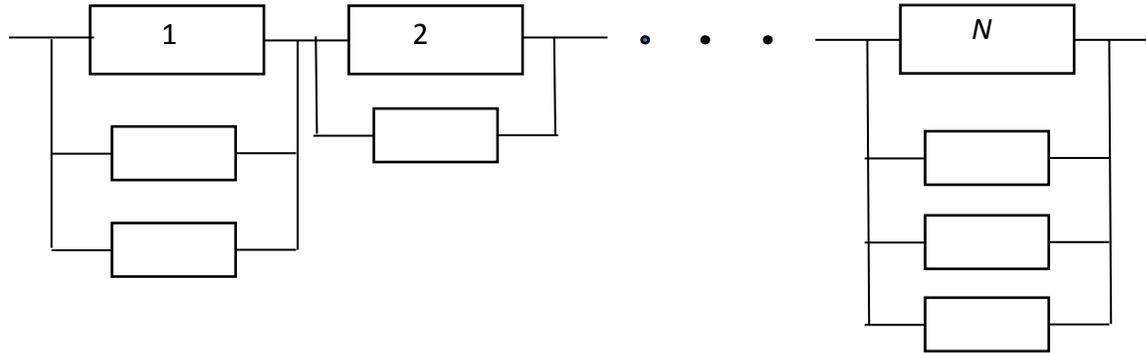
Требуется обеспечить заданную надежность ТС с помощью поэлементного резервирования.

При $P_r \geq P_0$ обязательно выполнение условия $P_{ri} > P_0$ (или для вероятностей отказов $Q_{ri} < Q_0$) для всех i (так как все $P_{ri} < 1$).

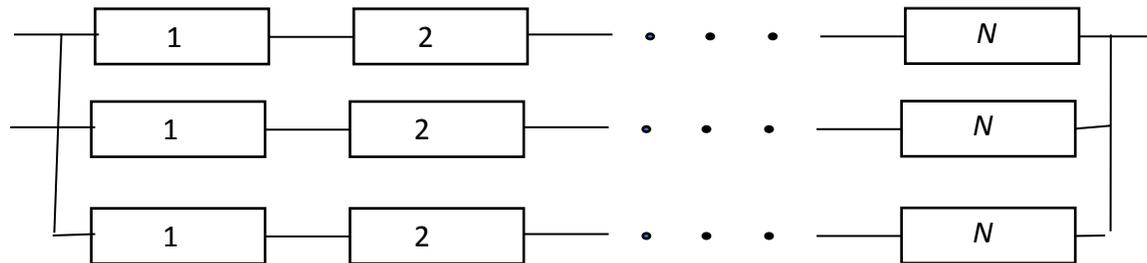
Исходная система



Поэлементное резервирование



Системное резервирование



Одним из вариантов синтеза подобной ТС является следующий:

1. Определение количества ($m1$) резервных элементов для рабочего элемента 1.

Для обеспечения условия $Q_{r1} < Q_0$, определим

$$Q_1 = 1 - P_1 = 0,1.$$

В рассматриваемом примере, если к рабочему элементу 1 добавляется один резервный элемент ($m1=2$), то условие $Q_{r1} < Q_0$ выполняется

$$Q_1^2 = 0,01 < 0,05.$$

2. Определение количества ($m2$) резервных элементов для рабочего элемента 2.

Требуемая вероятность безотказной работы оставшейся части ТС (без учета 1-го рабочего элемента) определяются как

$$P_{01} = P_0 / P_{r1},$$

откуда с точностью до 4-го знака получим

$$Q_{01} = 1 - P_{01} = 1 - 0,95 / 0,99 = 1 - 0,9596 = 0,0404.$$

Используя вероятность отказов Q_{01} вместо Q_0 , находим условия обеспечения надежности для рабочего элемента 2: $Q_{r2} < Q_{01}$.

Выполняя действия аналогичные п.1, получим при $m2=2$,

$$Q_{r2} = 0,0025 < 0,0404.$$

3. Для элемента 3.

Требуемая вероятность отказов для оставшейся части ТС (без 1-го и 2-го элементов) равна

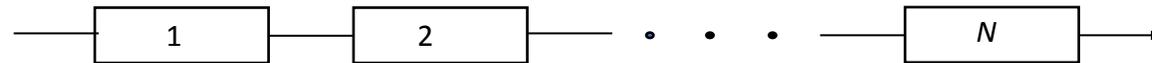
$$Q_{02} = 1 - 0,9595 / 0,96 = 1 - 0,9996 = 0,0004.$$

Заданная требуемая надежность всей ТС обеспечивается при $m3 = 3$, так как в этом случае удовлетворяется условие

$$Q_{r3} = 0,000125 < 0,0004.$$

Примеры

1. Построить схемы резервирования ТС (поэлементную, системную);
2. Рассчитать количество резервных элементов для каждой схемы;
3. Сравнить количество резервных элементов;
4. Выбрать наилучший вариант.



	P_1	P_2	P_3	P_0
1	0,9	0,8	0,75	0,95
2	0,85	0,85	0,9	0,95
3	0,75	0,9	0,8	0,95
4	0,85	0,7	0,9	0,95

Испытания

Испытания в соответствии с ГОСТ 16504-81 подразделяются по:

назначению — на исследовательские, контрольные, сравнительные, определительные;

уровню проведения - на государственные, межведомственные, ведомственные;

этапам разработки продукции - на доводочные, предварительные, приемочные;

испытаниям готовой продукции — на квалификационные, предъявительские, приемо-сдаточные, периодические, инспекционные типовые, аттестационные, сертификационные;

условиям и месту проведения испытаний - на лабораторные стендовые, полигонные, натурные, с использованием моделей, эксплуатационные;

продолжительности - на нормальные, ускоренные, сокращенные;

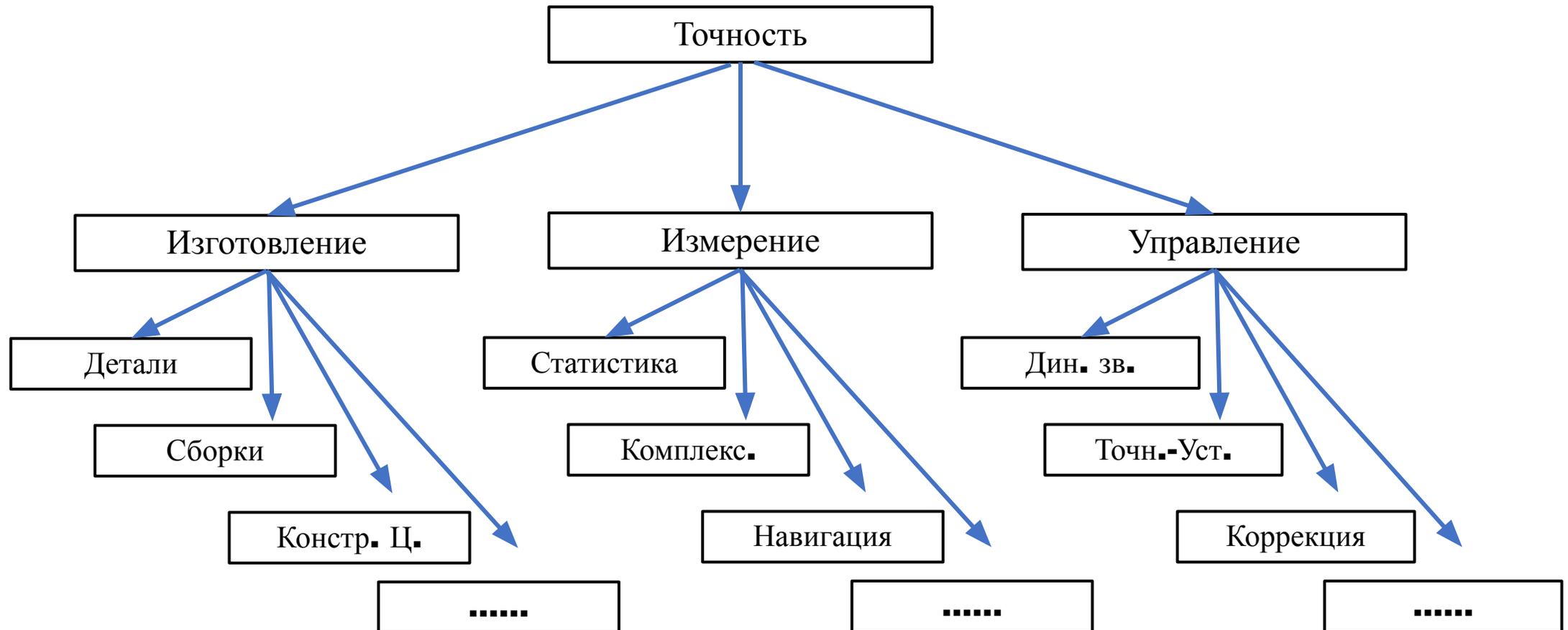
виду воздействия — на механические, климатические, термические, радиационные, электрические, электромагнитные, магнитные, химические, биологические;

результату воздействия - на неразрушающие, разрушающие, испытания на прочность, на устойчивость;

определяемым характеристикам объекта - на функциональные испытания на надежность, безопасность, транспортабельность, граничные, технологические.

Контроль: входной, операционный, выходной, приемочный; сплошной, выборочный

5. ПК. Точность технических систем (ТС)



Точность изготовления

1. Структура деталей и сборок;
2. Базирование и силовое замыкание;
3. Направляющие движения. Заклинивание;
4. Конструктивные цепи;
5. Сборка. Взаимозаменяемость: полная, частичная, селективная;
6. Сборка с компенсацией.

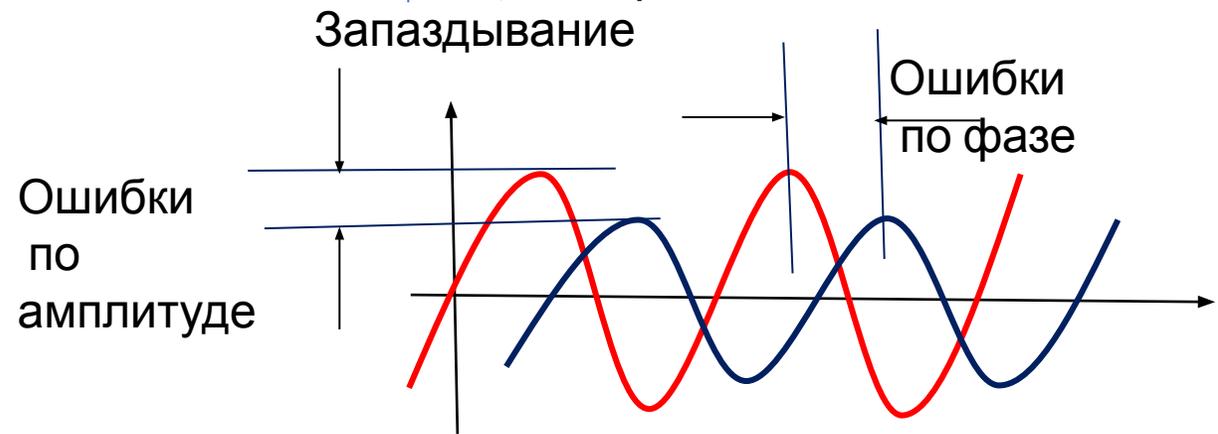
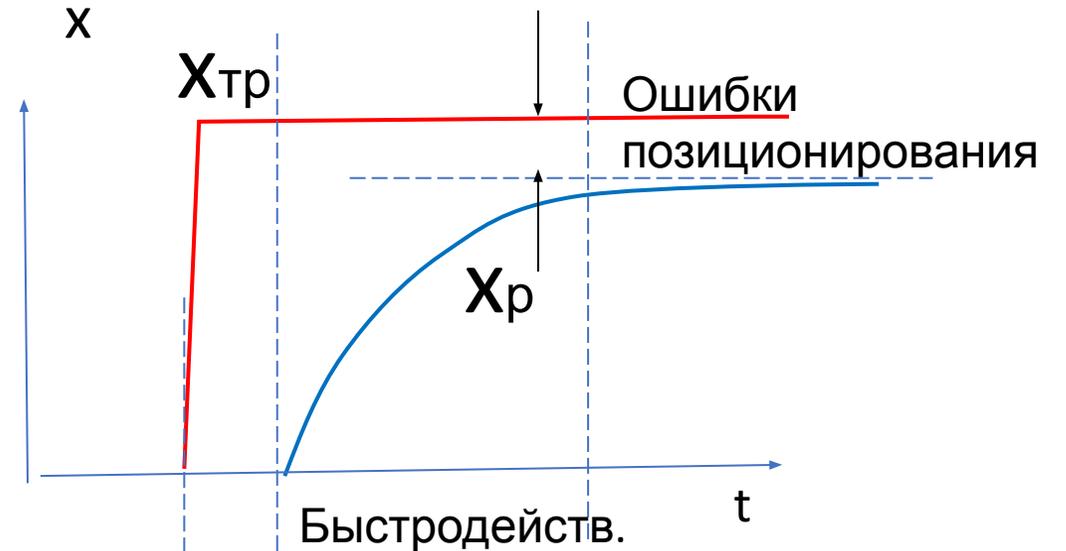
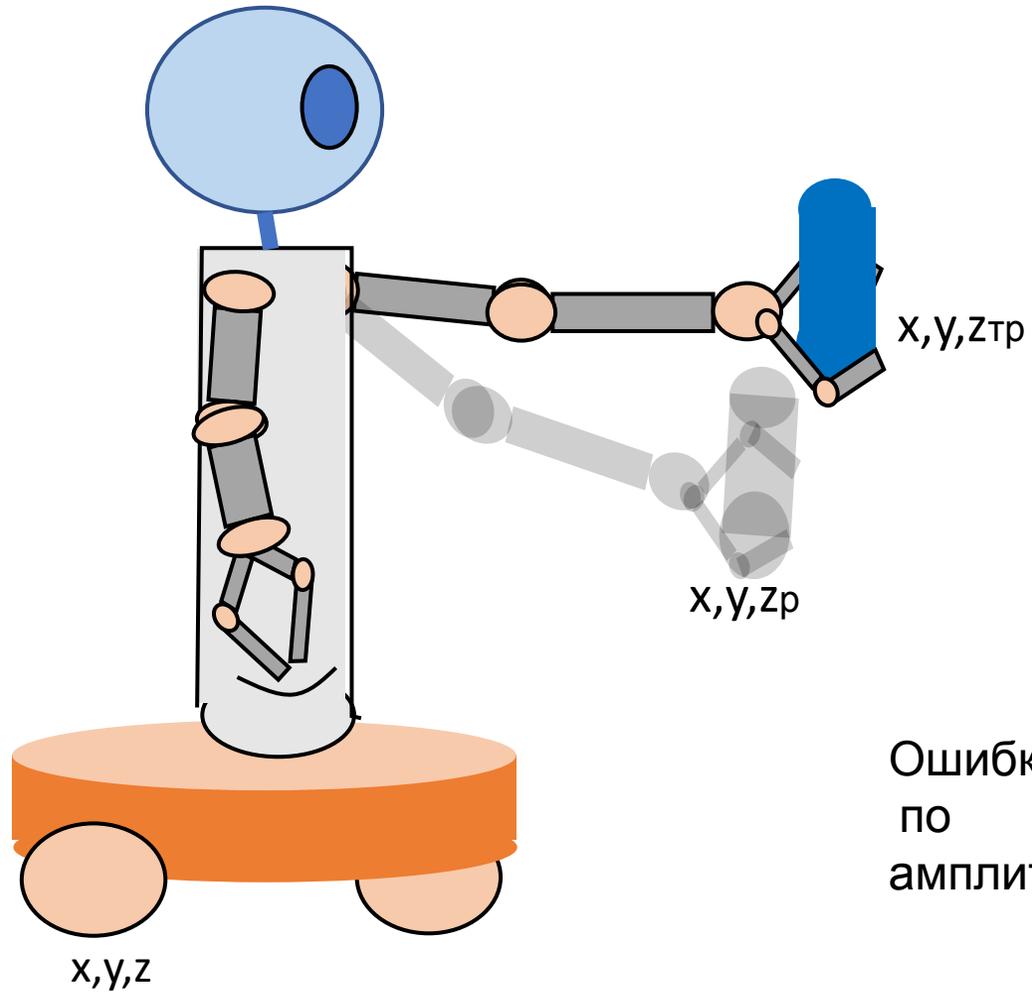
6-7. Точность управления

1. Точность управления. Переходный процесс. Гармонические колебания. Качество процессов;
2. Элементарные звенья. Физические аналоги. Уравнение движения;
3. ЛАФЧХ;
4. Управление. Обратная связь;
5. Контур управления: точность и устойчивость;
6. Коррекция управления. ПИД – регулятор.

7. Системы автоматического управления Обеспечение точности и быстродействия движения робота

- В ТАУ можно выделить две характерные задачи: 1) в заданной системе автоматического управления (САУ) найти и оценить переходные процессы (или параметры установившегося режима) - это задача анализа САУ; 2) по заданным переходным процессам и основным показателям разработать САУ - это задача синтеза САУ.
- Вторая задача сложнее в виду своей неоднозначности, многое определяется творческими способностями проектировщика. Поэтому обычно задача синтеза САУ ставится ограниченно. Считается, что основная часть системы уже задана, что обычно имеет место. Требуется синтезировать корректирующие звенья, то есть выбрать их схему и параметры. При этом необходимо, чтобы в результате коррекции САУ обеспечивался требуемый запас устойчивости; точность управления в установившихся режимах и качество управления в динамических режимах.

Ошибки управления



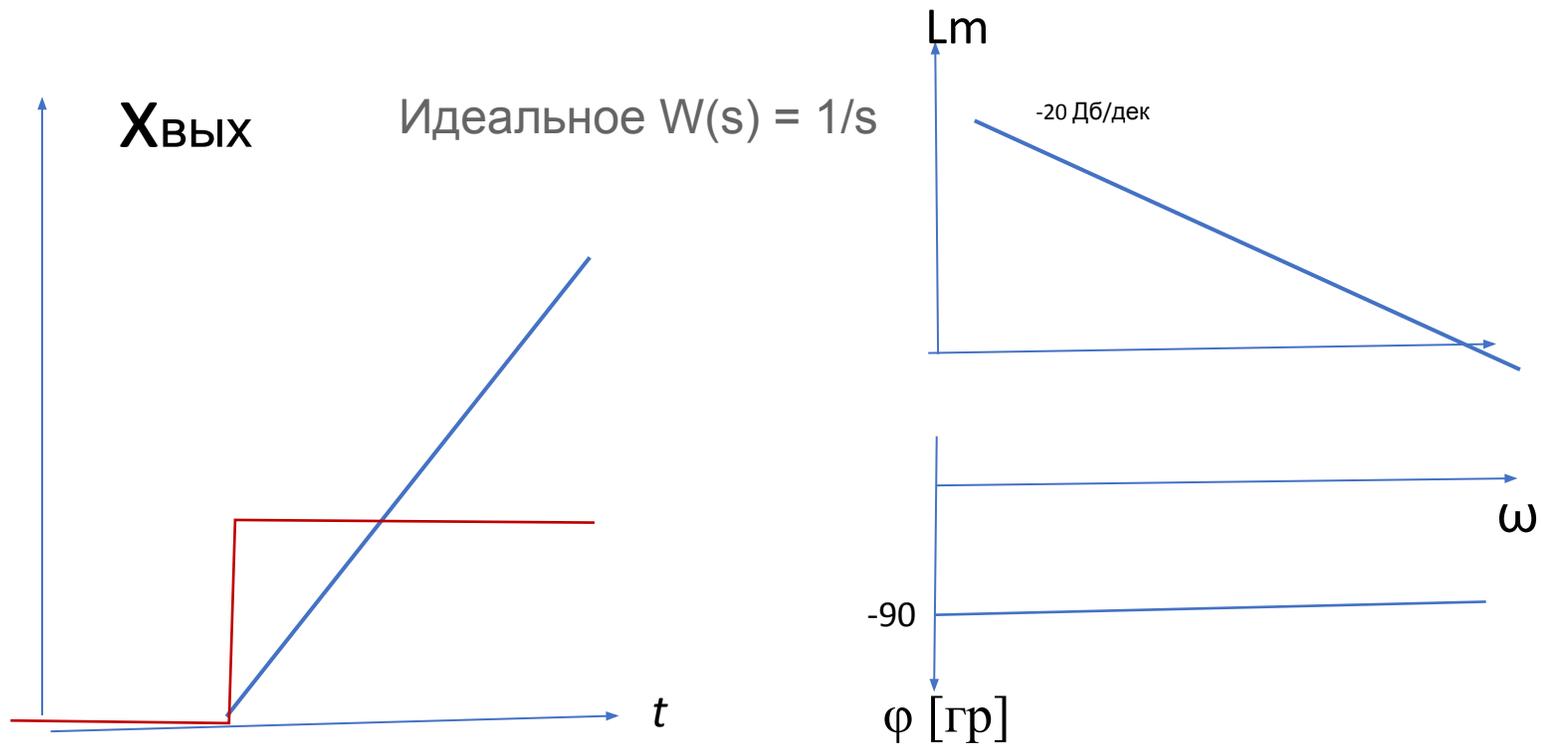
Элементарные звенья

- Усилительное $y = K \cdot x$. усиливает входной сигнал в K раз. Передаточная функция $W(s) = K$.
- Интегрирующее: идеальное $W(s) = 1/s$, реальное $W(s) = \frac{K}{s(Ts+1)}$.
- Дифференцирующее: идеальное $W(s) = K \cdot s$, реальное $W(s) = Ts + 1$.
- Аperiodическое, $W(s) = \frac{K}{Ts+1}$.
- Колебательное, $W(s) = \frac{K}{T_2^2 s^2 + T_1 s + 1}$.
- Звено транспортного (чистого) запаздывания, $W(s) = e^{-t_0 s}$.

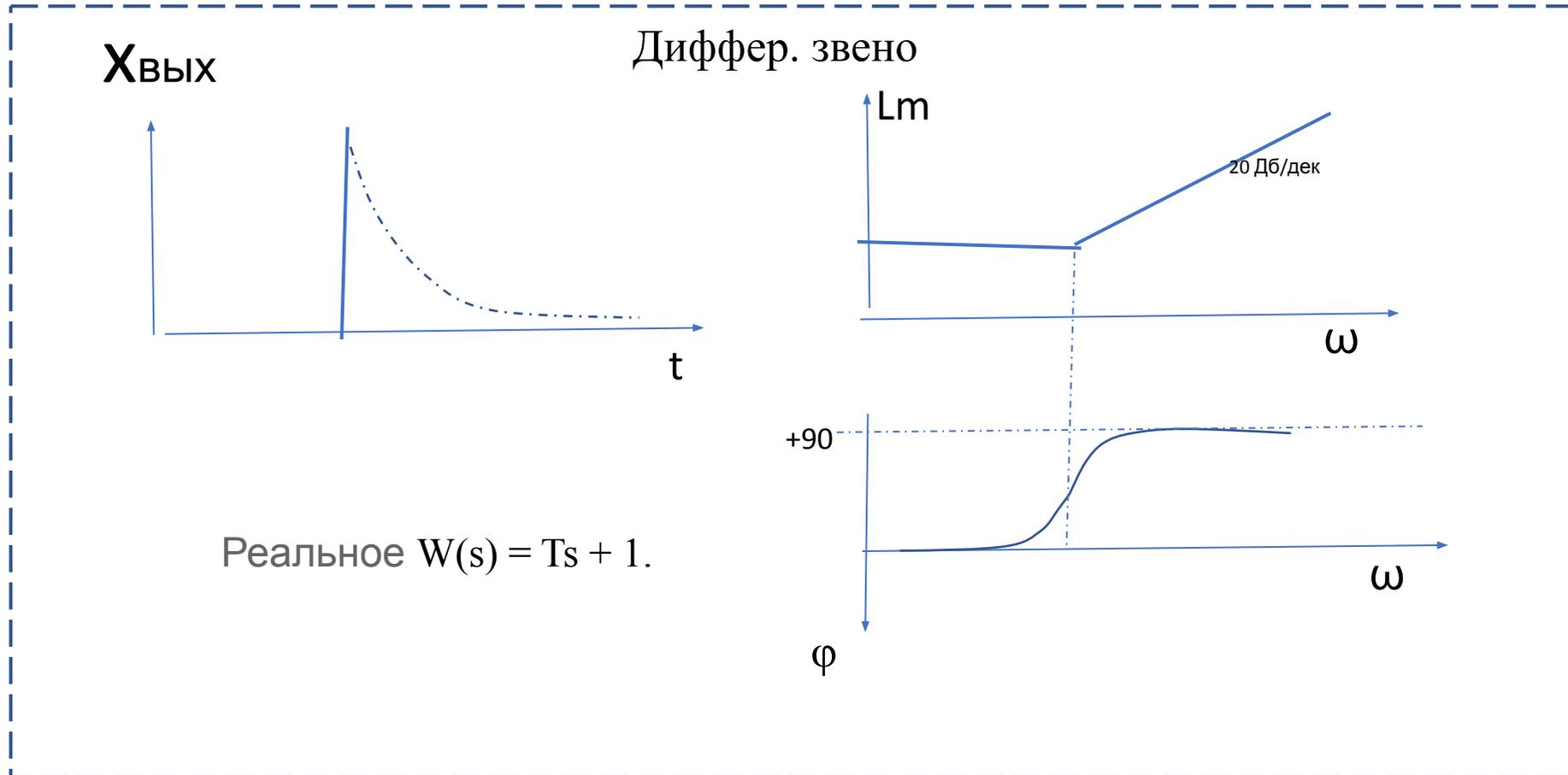
Здесь K – коэффициент усиления, T – постоянная времени, s – оператор Лапласа,
 t_0 - запаздывание

Элементарные звенья

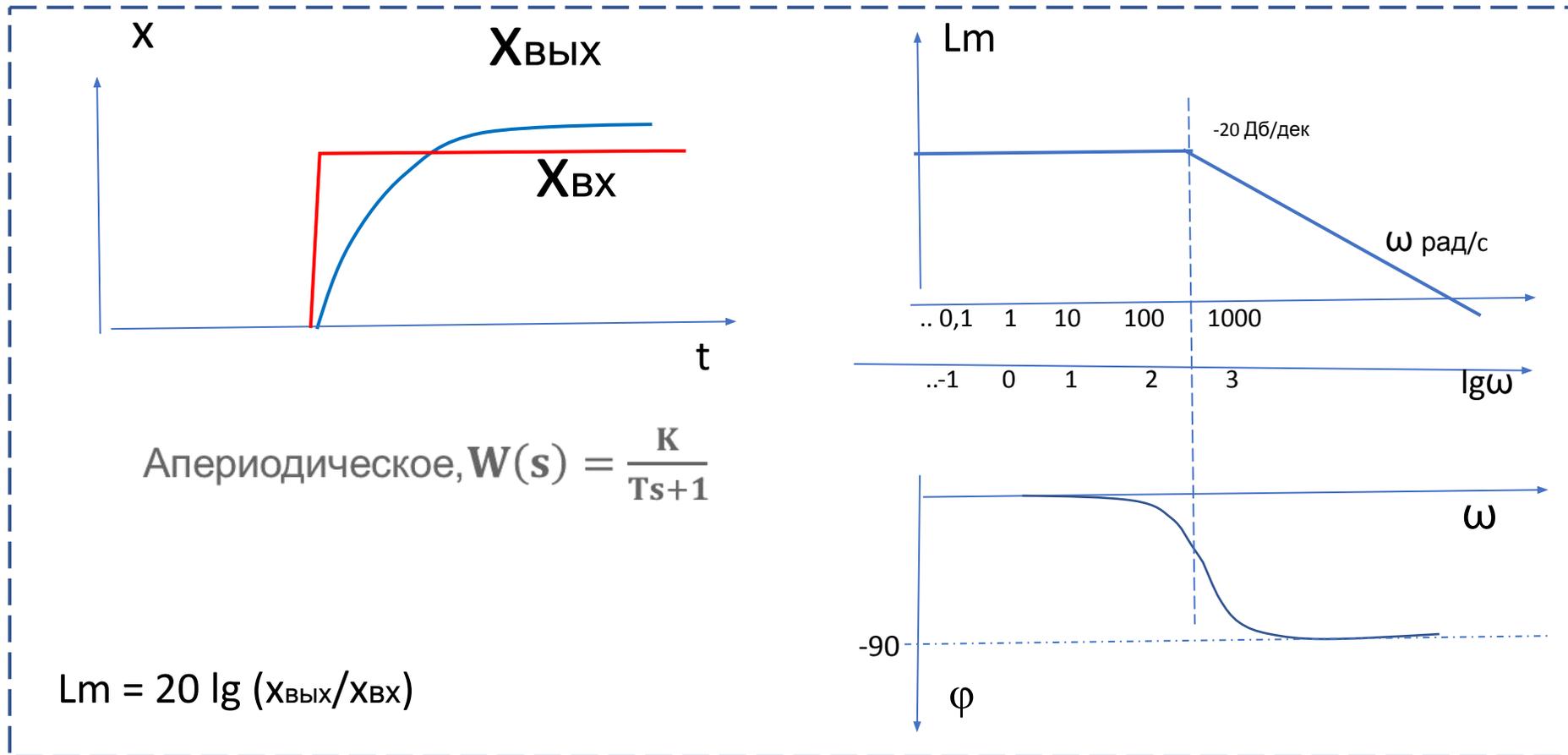
Интегр. звено



Элементарные звенья

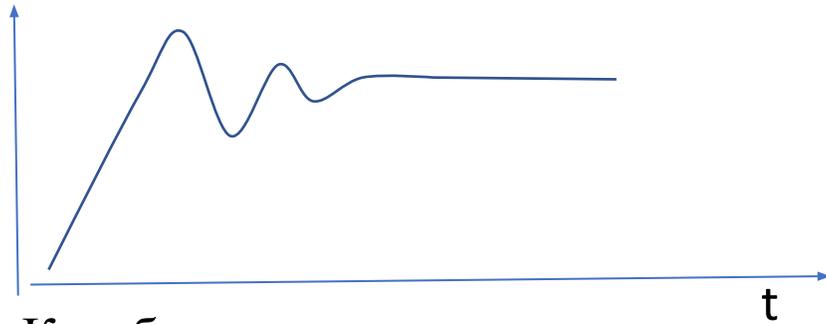


Элементарные звенья



Элементарные звенья

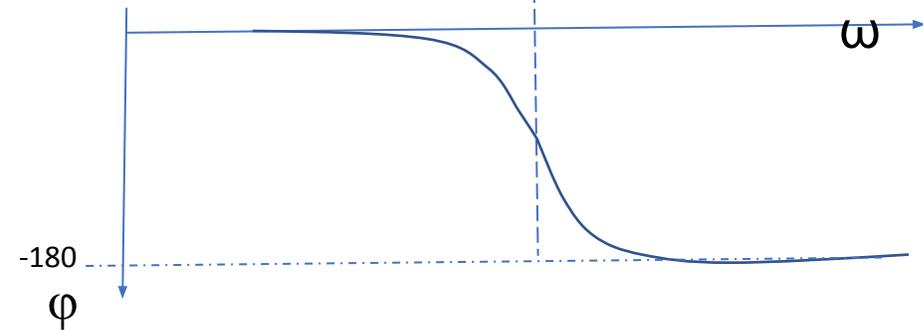
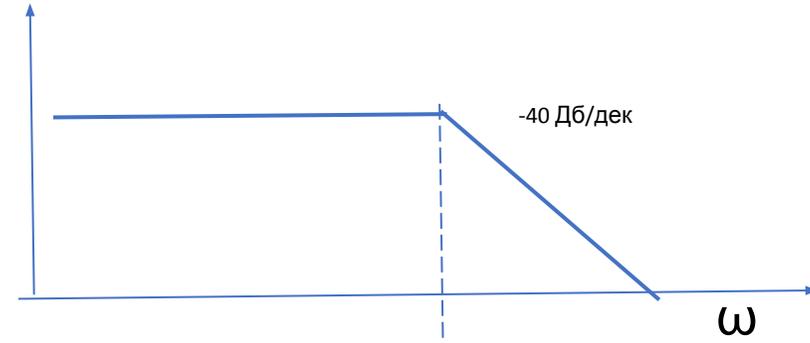
$X_{\text{ВЫХ}}$



Колебат. звено

$$W(s) = \frac{K}{T_2^2 s^2 + T_1 s + 1}$$

L_m



8. Контур САУ

Соединения звеньев

Вид передаточной функции объекта зависит от последовательности соединения звеньев:

1) Последовательное соединение.

$$W_{об} = W_1 \cdot W_2 \cdot W_3$$

При последовательном соединении звеньев их передаточные функции перемножаются.

2) Параллельное соединение.

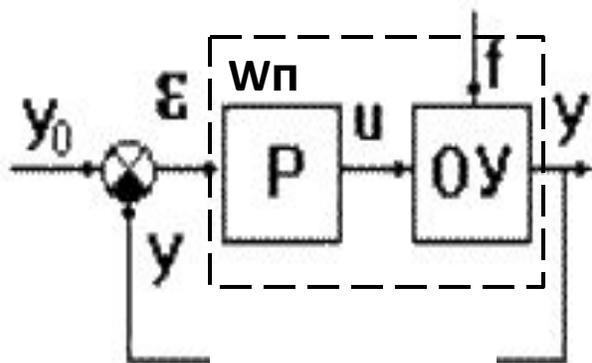
$$W_{об} = W_1 + W_2 + W_3 + \dots$$

При параллельном соединении звеньев их передаточные функции складываются.

3) Обратная связь

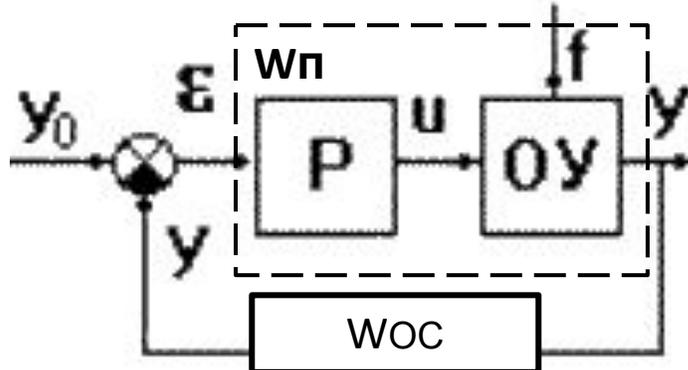
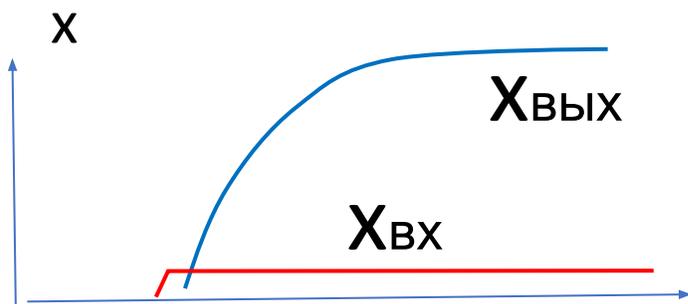
Передаточная функция по заданию (х): $W_{\zeta}(s) = \frac{W_1}{1 \pm W_1 W_2}$ отриц. связь, - полож. связь

Разомкнутые и замкнутые системы



Разомкнутая система

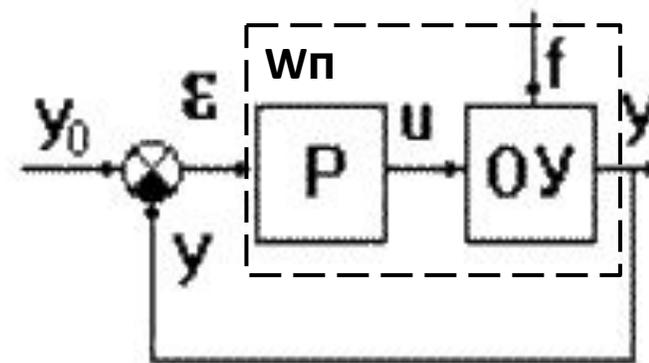
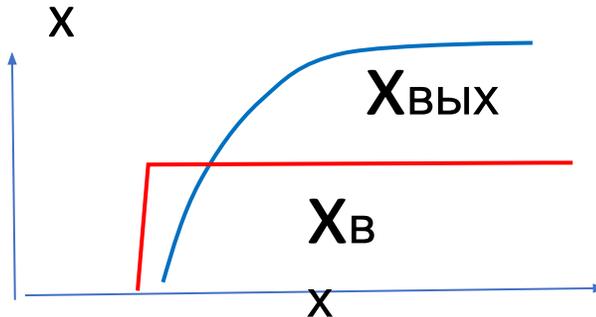
Например, $Wп = 100$



Замкнутая система Woc

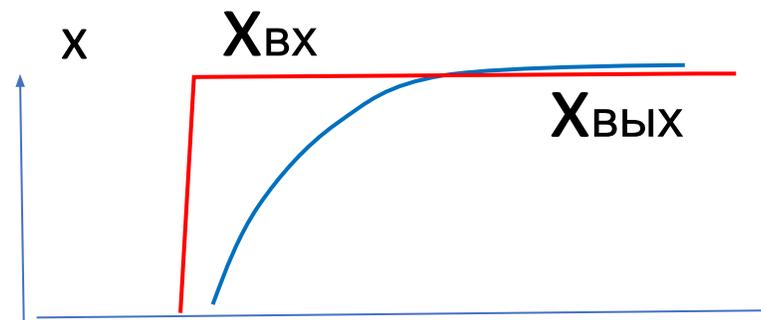
$$W = Wп / (1 + WпWoc)$$

$$Wп = 100, Woc = 0,5$$

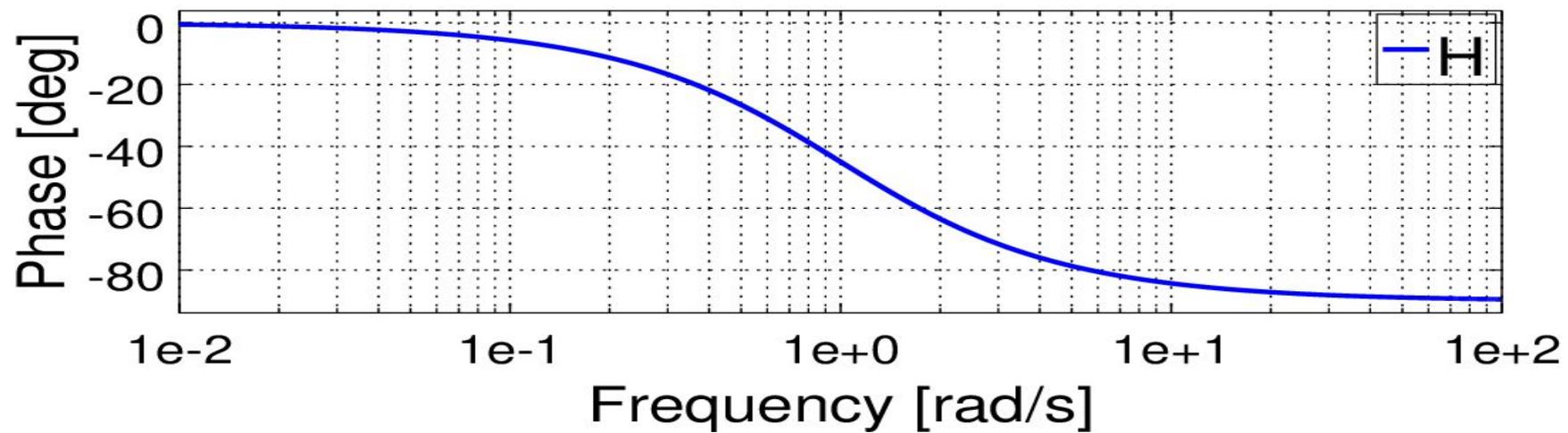
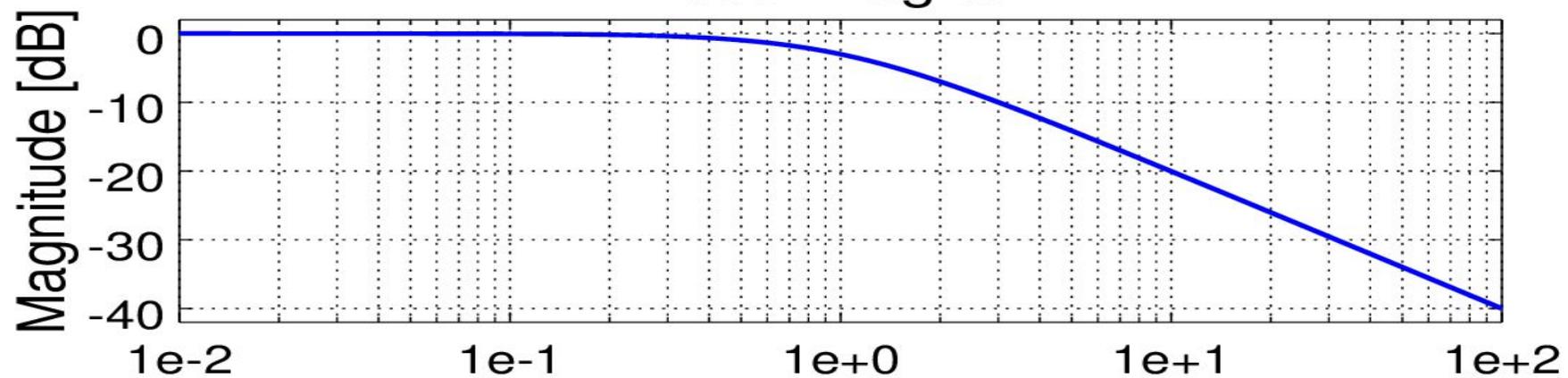


Замкнутая система с единичной отриц. ОС

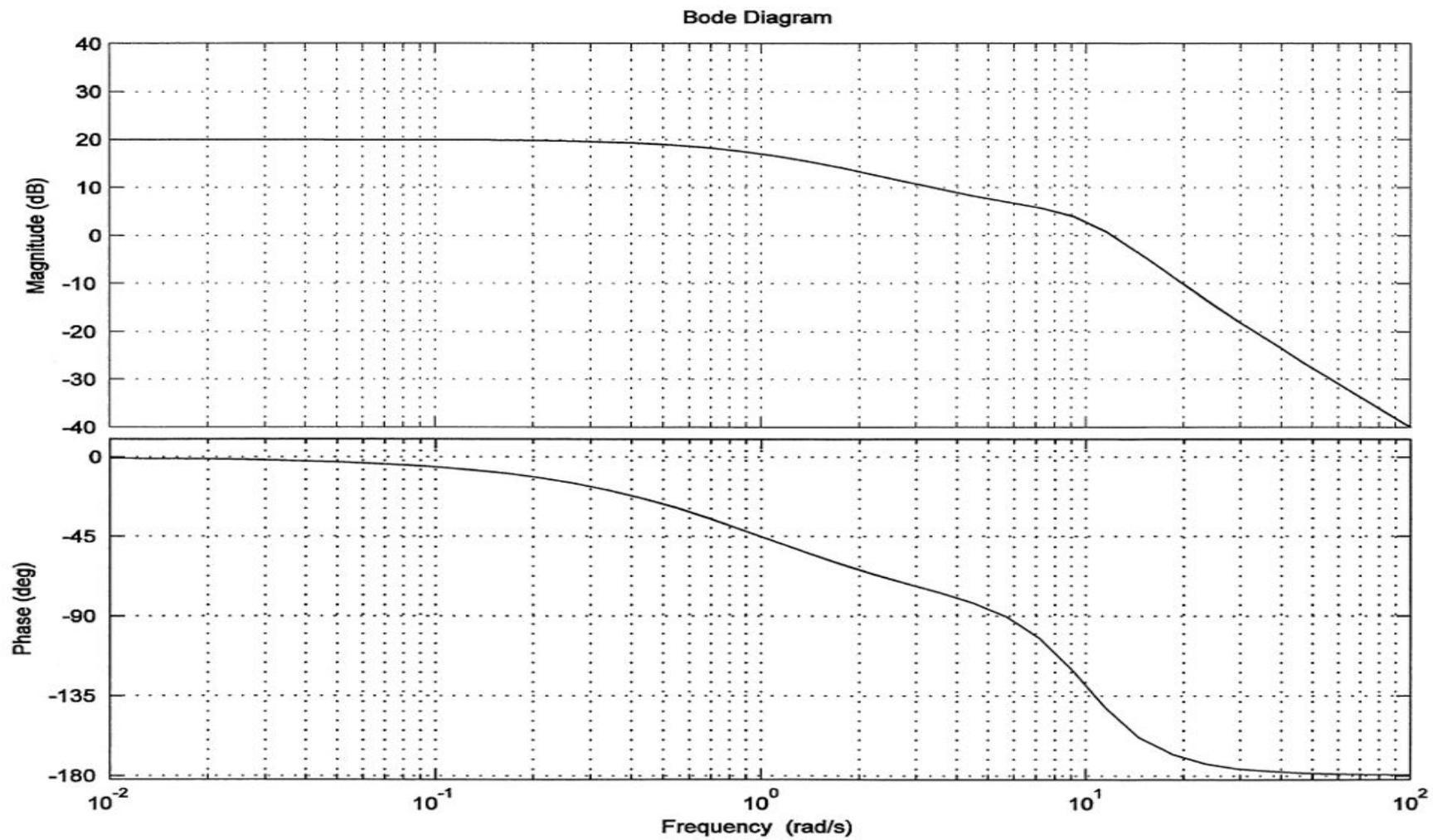
$$W = Wп / (1 + Wп)$$



Bode Diagram



ЛАФЧХ замкнутой системы

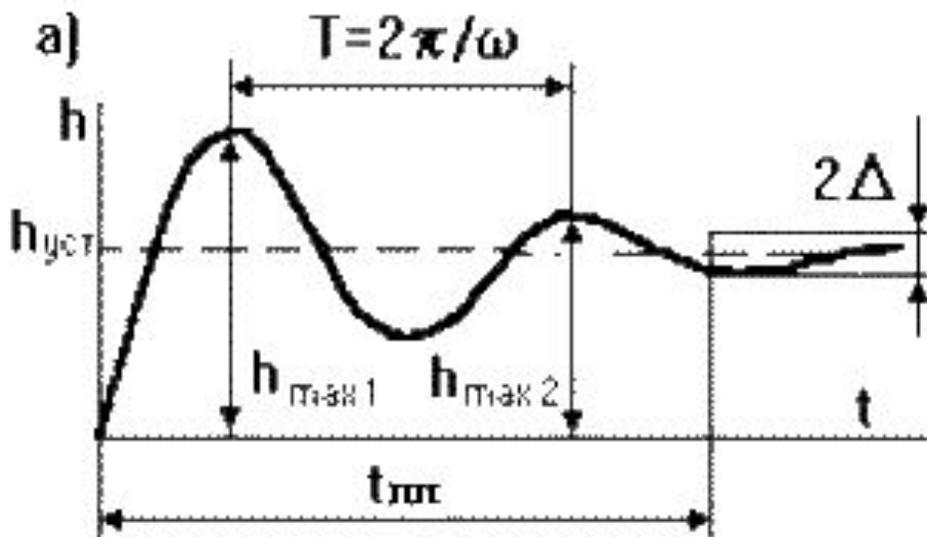


ЛАФЧХ разомкнутой системы

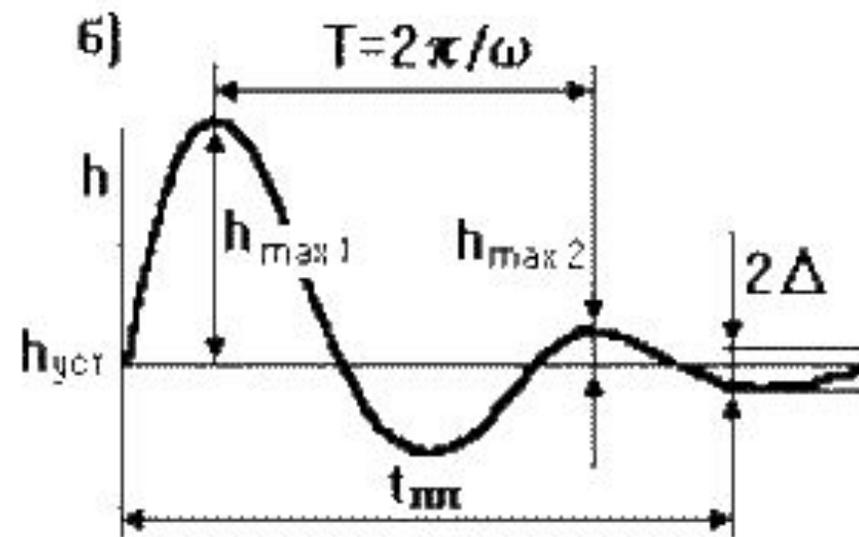
Переходный процесс

При нулевых начальных условиях динамический режим описывается переходной характеристикой $h(t) = \Delta y(t) = y(t) - y_0 = -e(t)$.

1. *Статическая ошибка* $e_{уст} = y_0 - y_{уст} = -h_{уст}$ - это разность между предписанным и действительным значением управляемой величины в установившемся режиме. Для статических систем статическая ошибка отлична от нуля и пропорциональна величине возмущающего фактора f (в линейных САУ) и коэффициенту передачи системы по данному возмущению, а для астатических - равна нулю.



Статическая система



Астатическая система

2. *Время переходного процесса* $t_{пп}$ - это время от момента воздействия, начиная с которого колебания управляемой величины не превышают некоторого наперед заданного значения, то есть $|h(t) - h_{уст}| \leq \Delta$. Обычно принимают $\Delta = 0.05h_{уст}$.

3. *Перерегулирование* s - это максимальное отклонение управляемой величины от установившегося значения, выраженное в относительных единицах:

$$S = \frac{h_{\max 1} - h_{уст}}{h_{уст}}$$

Здесь $h_{\max 1}$ - значение первого максимума переходной характеристики. При больших перерегулированиях могут возникнуть значительные динамические усилия в механической части системы, электрические перенапряжения и т.п. Допустимое значение s определяется из опыта эксплуатации. Обычно оно составляет 0.1...0.3, иногда допускается до 0.7.

4. *Частота колебаний*

$$\omega = 2\pi/T, \text{ где } T - \text{период колебаний.}$$

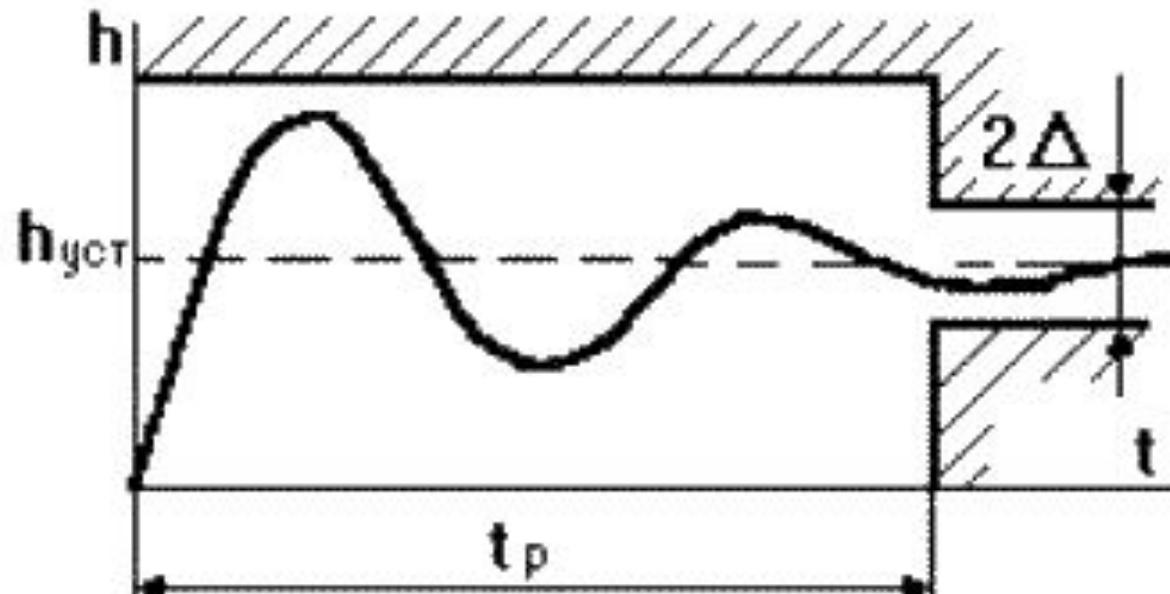
5. *Число колебаний* n за время $t_{пп}$.

6. *Декремент затухания* k , равный отношению двух смежных перерегулирований

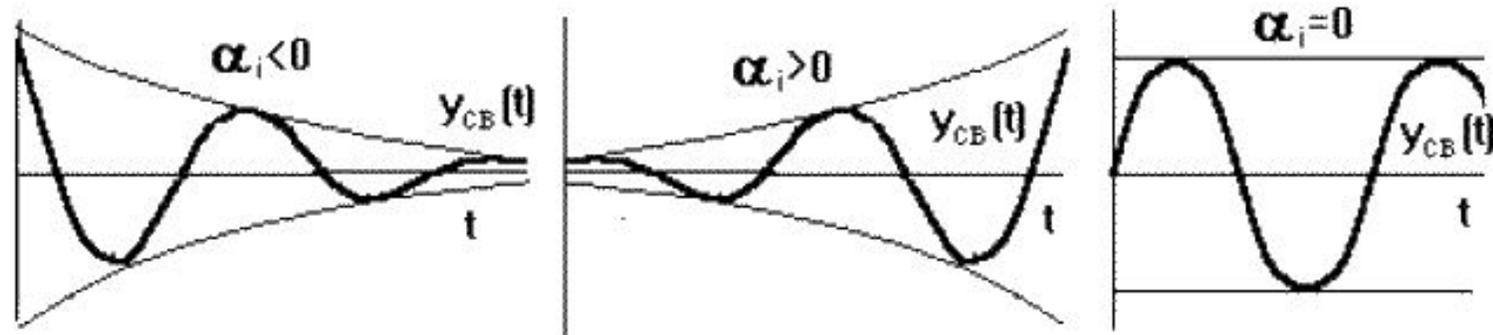
$$k = \frac{|h_{\max 1} - h_{уст}|}{|h_{\max 2} - h_{уст}|}$$

Показатели качества переходного процесса

- При создании САУ допустимые значения показателей качества оговариваются техническими условиями, что можно представить в виде *диаграммы показателей качества*. Это область, за границы которой не должна выходить переходная характеристика



Устойчивые и неустойчивые системы



Исследование переходных процессов носит частный характер.

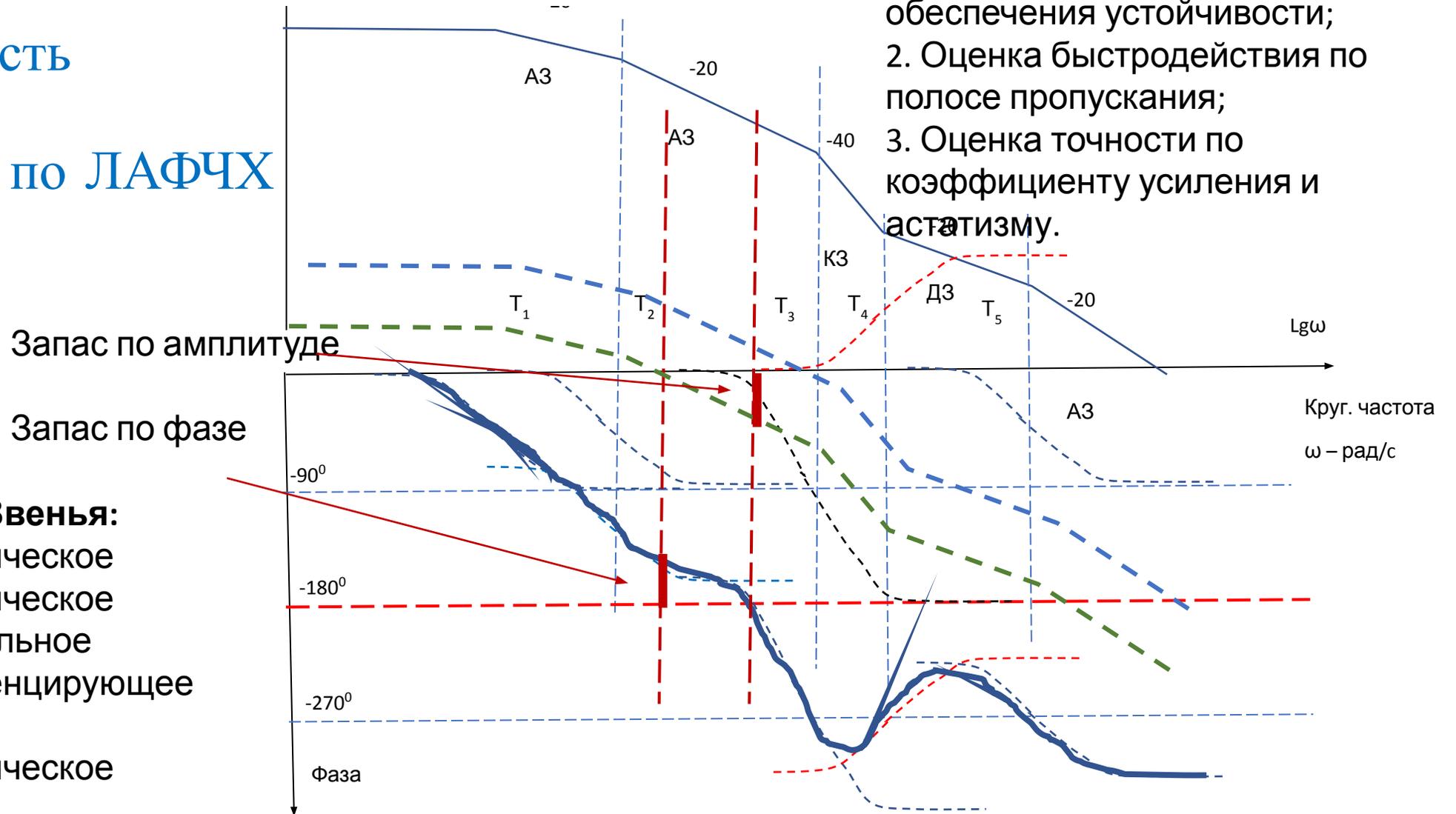
Более общие результаты получаются при исследовании систем частотными методами.

Например, на основе исследования логарифмических амплитудно-фазовых частотных характеристик ЛАФЧХ.

Устойчивость и качество процессов по ЛАФЧХ

$$Lm(x_1/x_2) = 20 \lg(x_1/x_2) . \text{ Например, при } k=100, Lm = 40 \text{ Дб}$$

Амплитудная х-ка



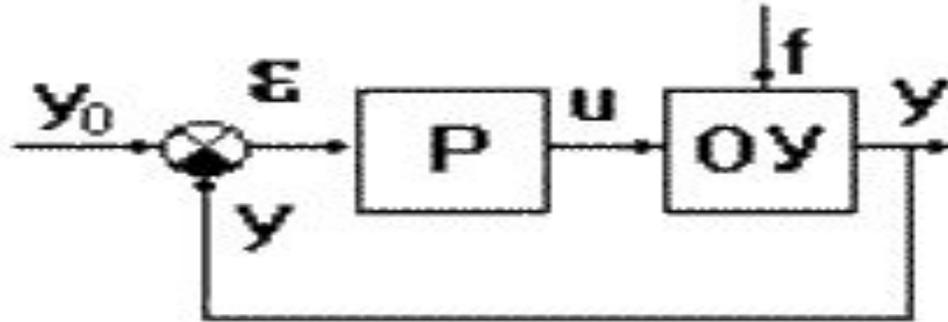
Главные проблемы:

1. Определение условий обеспечения устойчивости;
2. Оценка быстродействия по полосе пропускания;
3. Оценка точности по коэффициенту усиления и астатизму.

Звенья:

- Аperiodическое
- Аperiodическое
- Колебательное
- Дифференцирующее (реал.)
- Аperiodическое

9. ПД-регулятор



Законом регулирования называется математическая зависимость, в соответствии с которой управляющее воздействие на объект вырабатывалось бы безынерционным регулятором.

Простейшим из них является *пропорциональный закон регулирования*, при котором

$$u(t) = K e(t) \text{ (рис. а),}$$

где $u(t)$ - это управляющее воздействие, формируемое регулятором, $e(t)$ - отклонение регулируемой величины от требуемого значения, K - коэффициент пропорциональности регулятора P .

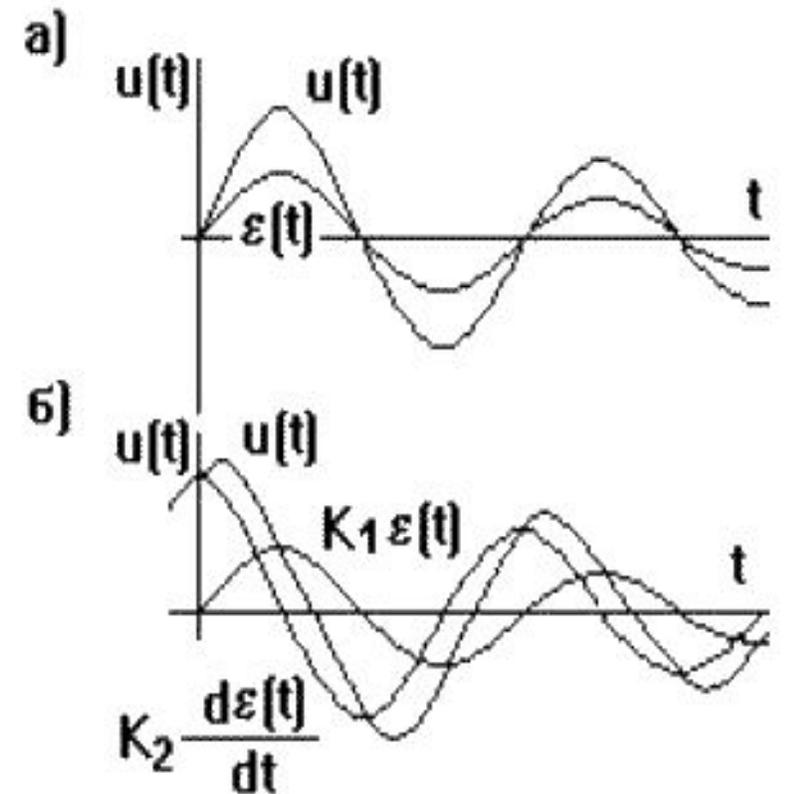
То есть для создания управляющего воздействия необходимо наличие ошибки регулирования и чтобы величина этой ошибки была пропорциональна возмущающему воздействию $f(t)$. Другими словами САУ в целом должна быть статической.

Такие регуляторы называют *П-регуляторами*.

Так как при воздействии возмущения на объект управления отклонение регулируемой величины от требуемого значения происходит с конечной скоростью (рис. б), то в начальный момент на вход регулятора подается очень малая величина e , вызывая при этом слабые управляющие воздействия u . Для повышения быстродействия системы желательно форсировать процесс управления. Для этого в регулятор вводят звенья, формирующие на выходе сигнал, пропорциональный производной от входной величины, то есть дифференцирующие или форсирующие звенья.

Такой закон регулирования называется *пропорционально - дифференциальным*: $u(t) = K_1 e(t) + K_2 de(t)/dt$.

В соответствии с ним работают *ПД-регуляторы*.



И-регулятор

Интегральный закон регулирования реализуется И-регулятором

$$u(t) = K \int_0^t \varepsilon(t) dt$$

Этот регулятор наращивает управляющее воздействие до тех пор пока управляемая величина отличается от требуемого значения, то есть пока $\varepsilon(t) \neq 0$.

И-регулятор обеспечивает астатическое регулирование.

При малых ε управляющее воздействие изменяется с малой скоростью, поэтому данный регулятор очень инерционный.

ПИД-регулятор

Чтобы увеличить быстродействие обычно последовательно с ним включают усилитель, это дает *пропорционально-интегральный закон регулирования (ПИ-регулятор)*, его формула:

$$u(t) = K_1 \varepsilon(t) + K_2 \int_0^t \varepsilon(t) dt$$

Первое слагаемое обеспечивает быстродействие, второе - астатичность, то есть точность регулирования.

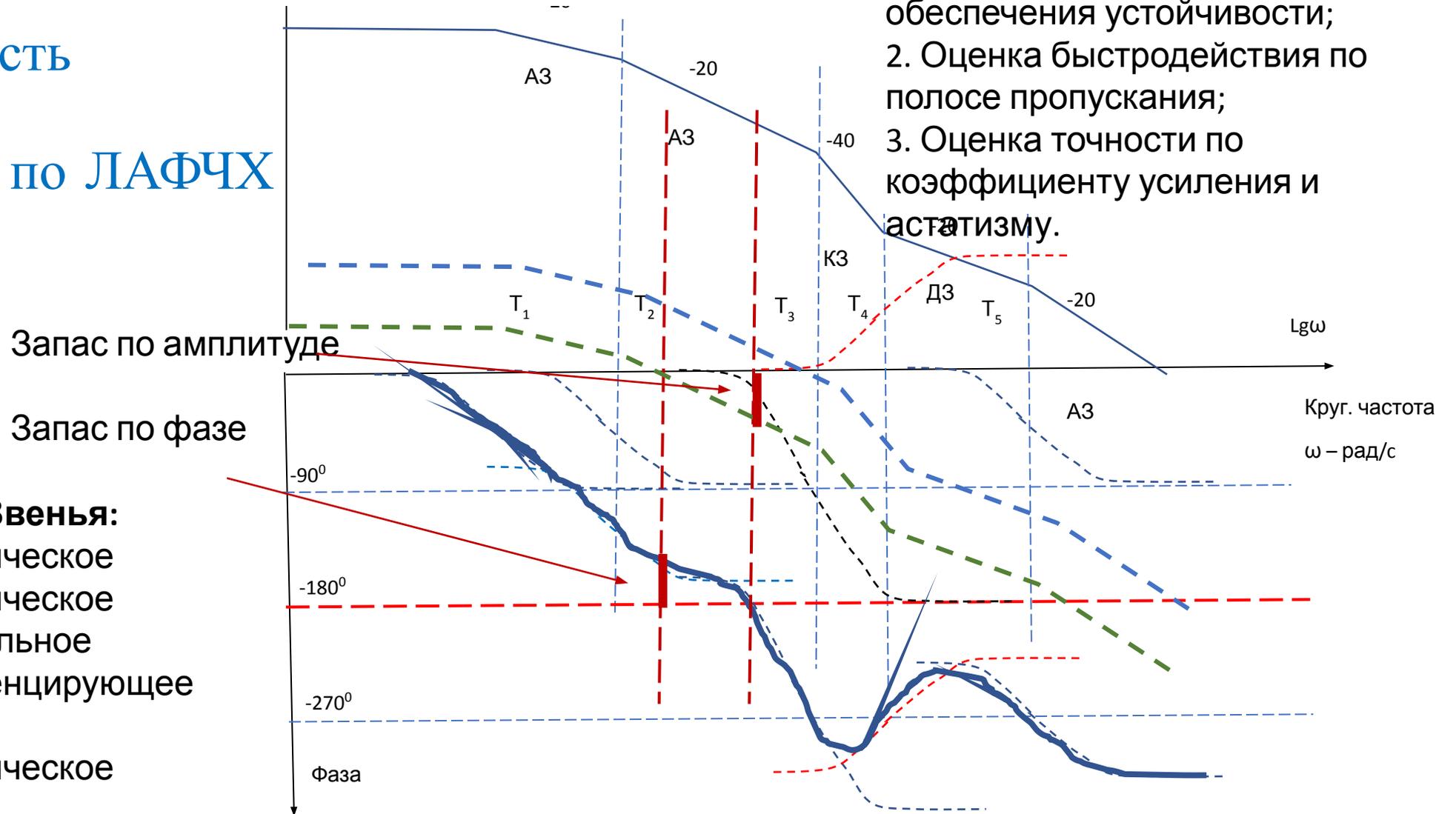
Еще большее быстродействие обеспечивается при добавлении слагаемого, пропорционального производной от отклонения управляемой величины de/dt , такой закон регулирования обеспечивается *ПИД-регулятором*, его формула:

$$u(t) = K_1 \varepsilon(t) + K_2 \int_0^t \varepsilon(t) dt + K_3 \frac{d\varepsilon(t)}{dt}$$

Устойчивость и качество процессов по ЛАФЧХ

$$Lm(x_1/x_2) = 20 \lg(x_1/x_2) . \text{ Например, при } k=100, Lm = 40 \text{ Дб}$$

Амплитудная х-ка



Главные проблемы:

1. Определение условий обеспечения устойчивости;
2. Оценка быстродействия по полосе пропускания;
3. Оценка точности по коэффициенту усиления и астатизму.

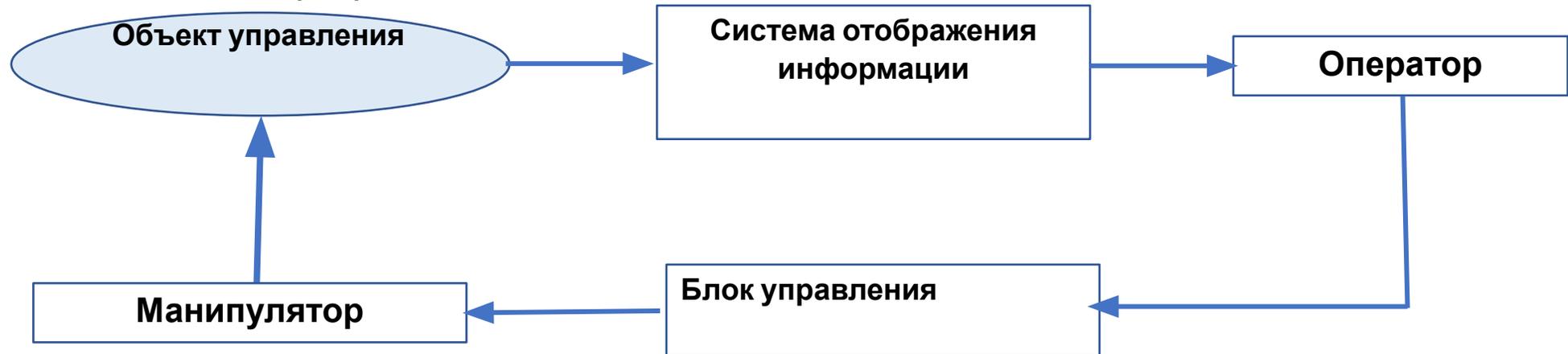
Звенья:

- Аperiodическое
- Аperiodическое
- Колебательное
- Дифференцирующее (реал.)
- Аperiodическое

Системы управления роботами

Командное управление

Оператор задает команды управления, в т.ч. в виде программ



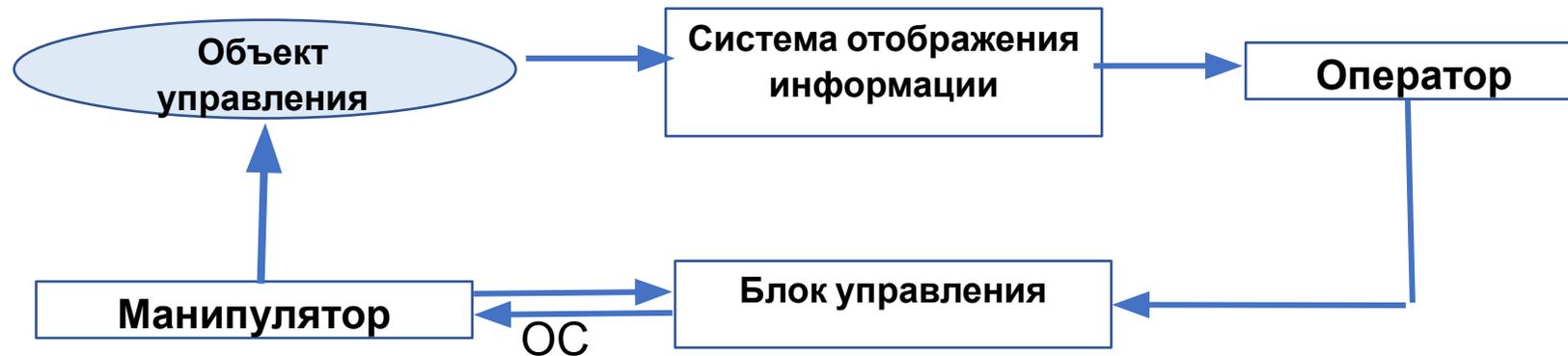
Основные проблемы

- Оценка положения объектов оператором (СОИ). Например, основные ошибки при управлении Луноходом;
- Точность управления манипулятором в движении и под нагрузкой (БУ).

Для повышения точности управления разработаны адаптивные методы коррекции

Копирующее управление

Робот-манипулятор копирует (всеми звеньями) движения оператора



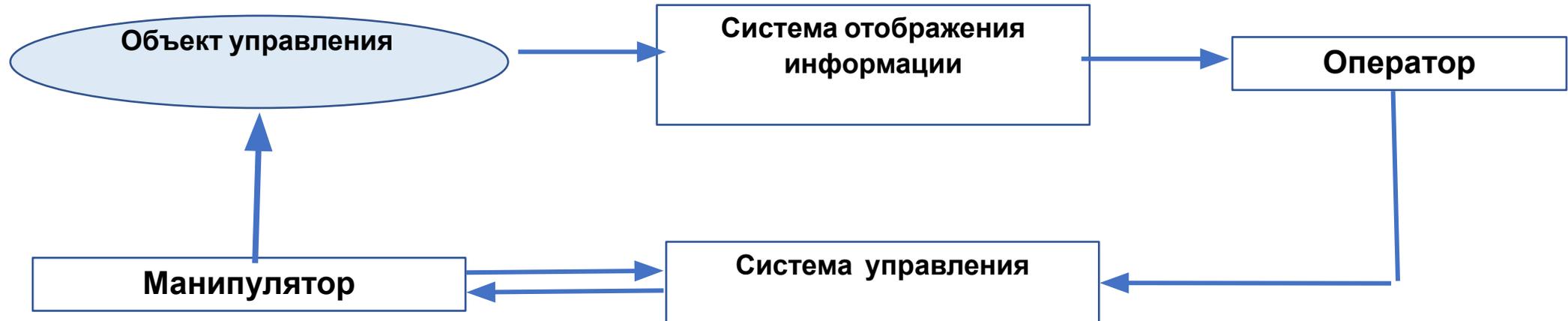
Основные проблемы

- Оценка положения объектов и манипулятора оператором (СОИ);
- Оценка прикладываемых усилий (ОС). Необходимость очувствления манипулятора и схвата.

Для повышения точности и быстродействия разработаны алгоритмы 3D визуализации внешней обстановки.

Полуавтоматическое управление

Оператор управляет только схватом



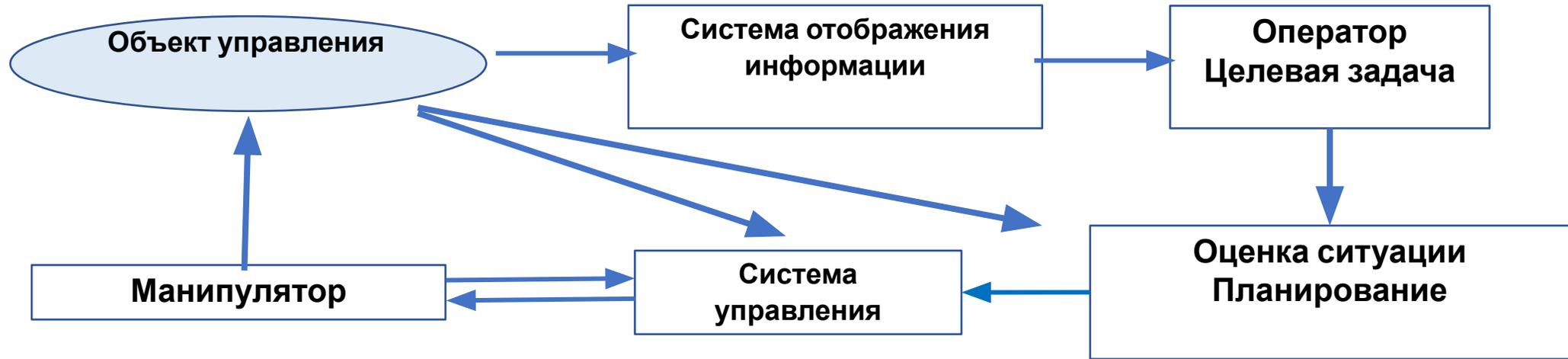
Основные проблемы

- Согласованное планирование и управление движением всех звеньев манипулятора (СУ);
- Обеспечение требуемой точности и быстродействия;

Для повышения точности и быстродействия разработан алгоритм решения обратной задачи с использованием обучаемой нейросети.

Автоматическое управление

Оператор определяет только целевую задачу



Основные проблемы

- Построение «Моделей мира» у робота для возможности описания и анализа ситуаций;
- Оценка ситуаций и планирование действий;
- Выбор действий с учетом действующих законов, этических норм, безопасности и пр.

Разработаны методики формирования моделей среды, объекта манипулирования и манипулятора.

Разработаны методы принятия решений на основе анализа моделей.

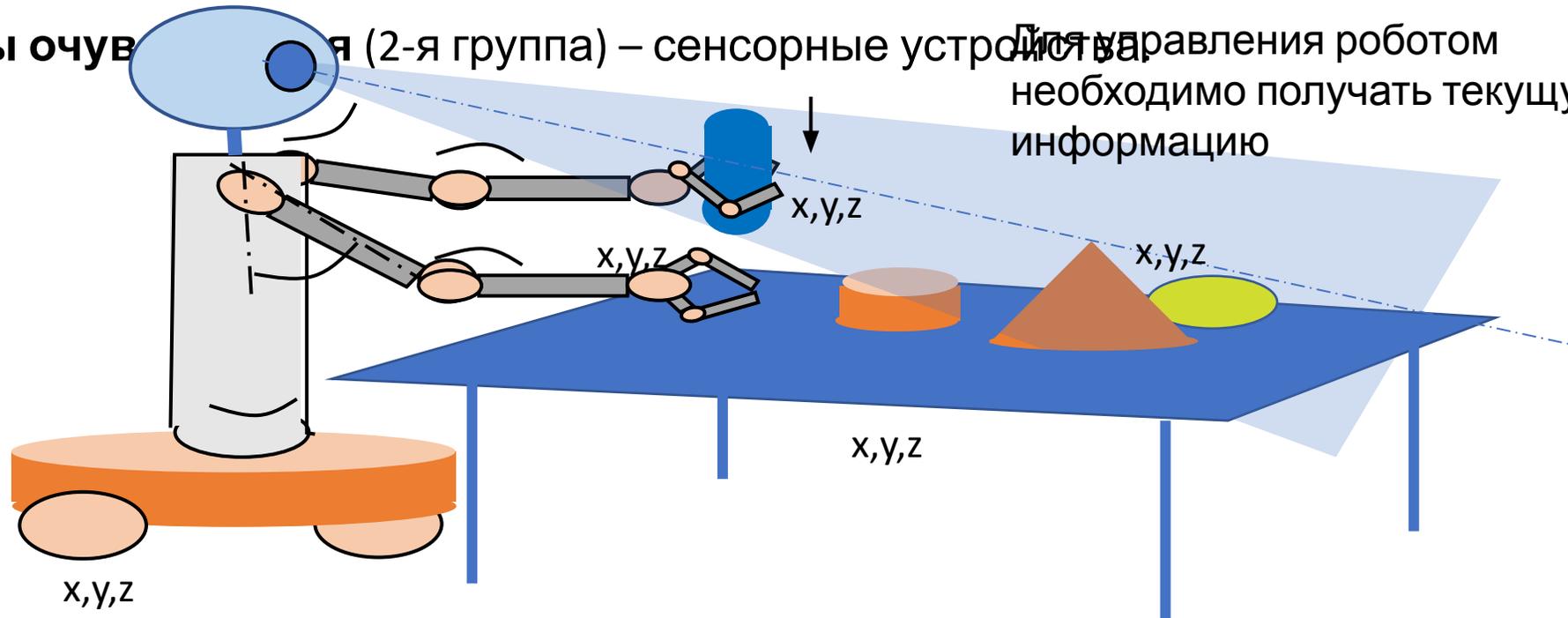
10. Информационные системы роботов

Козырев Ю.Г. Промышленные роботы. Справочник. – М.: Машиностроение, ... (различные издания)

Информационные системы роботов можно разделить по функциональному признаку на две группы.

Датчики состояния робота (1-я группа) – датчики положения, скорости, крутящего момента.

Системы чувствования (2-я группа) – сенсорные устройства. Для управления роботом необходимо получать текущую информацию



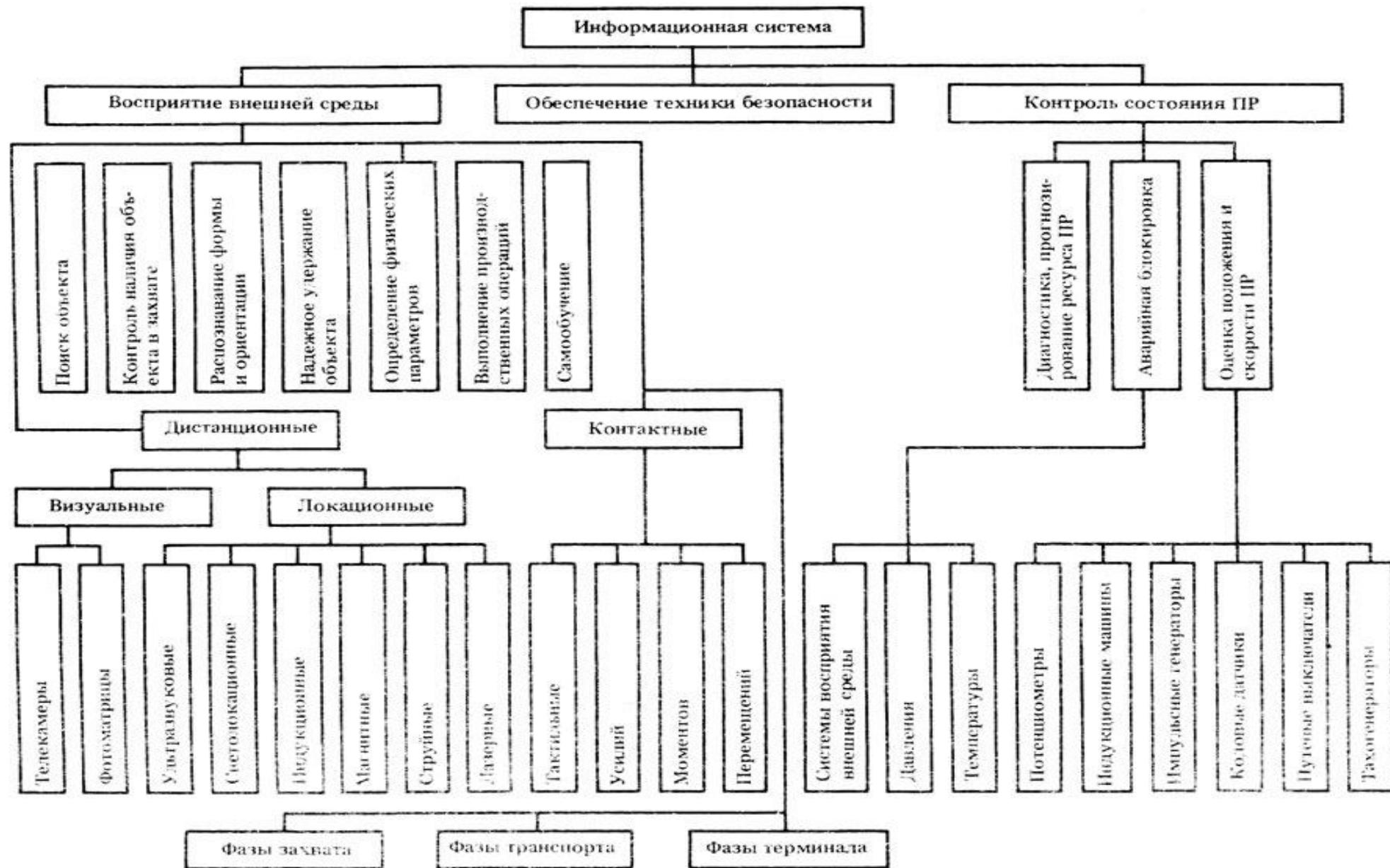
Обеспечение точности управления

1. Информационные системы роботов

- Контроль состояния P ,
 - Диагностика и прогнозирование состояния,
 - Оценка положения и скорости P ,
 - Безопасность P .
- Сенсорные системы для формирования «Моделей мира»,
- Системы технического зрения.

2. Системы автоматического управления

- Приводы с датчиками состояния, например, датчиками положения,
- Контурь САУ, обратные связи,
- Корректирующие звенья,



По функциональному назначению

По характеру решаемой задачи

По способу взаимодействия с внешней средой

По типу используемых датчиков

По месту анализа информации в процессе работы ПР

Система оценки положения и скорости

В общем случае для оценки положения и скорости роботов (Р) используются традиционные навигационные системы: спутниковая навигация, ИНС, навигация по информационным полям и пр.

Основными требованиями, предъявляемыми к датчикам системы, являются надежность, малые габаритные размеры и масса, помехоустойчивость и устойчивость к воздействию окружающей среды, простота юстировки, возможность отсчета абсолютных значений и низкая стоимость.

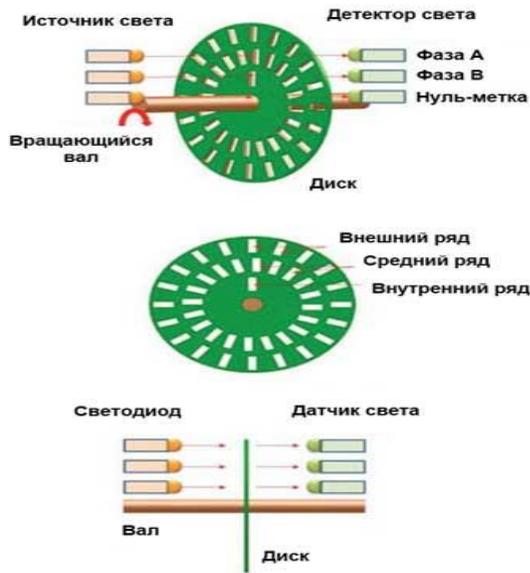
Для манипуляторов (М) со следящими приводами в состав системы входят датчики обратной связи по положению и скорости перемещения звеньев по отдельным степеням подвижности.

В качестве датчиков обратной связи по скорости применяют серийно выпускаемые тахогенераторы либо двигатели постоянного тока серии ДПМ.

В качестве датчиков обратной связи по положению могут быть использованы проволочные потенциометры, индуктивные и индукционные датчики типа вращающихся трансформаторов, индуктосинов (бесконтактная информационная машина без магнитопровода с печатными первичной и вторичной обмотками), резольверов (как ВТ, но с двумя обмотками статора).

Наиболее компактными датчиками, которые используются в обратных связях приводов, являются датчики Холла, емкостные и оптические датчики.

Датчики обратной связи



Оптические датчики

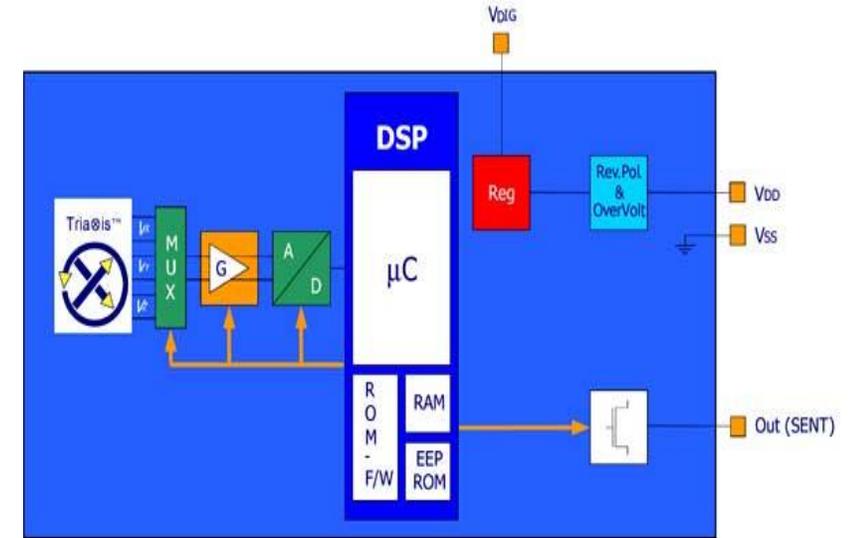
Датчик положения, в котором используется источник света (светодиод), два фотодатчика, смещенных друг относительно друга на 90°, и стеклянный или пластиковый диск между ними. На диске вырезаны тонкие щели, исходящие из центра. При вращении диска датчики видят чередование светлых и темных полос.

Количество щелей на диске и некоторые другие параметры определяют разрешение датчика, которое обычно составляет 1024, 2048 или даже 4096 отсчетов на оборот.



Емкостные датчики

Используется повторяющийся выгравированный рисунок из проводников на движущейся и неподвижной частях энкодера. При вращении энкодера относительная емкость между двумя частями увеличивается или уменьшается, и это изменение емкости детектируется, что несколько похоже на работу фототранзисторов в оптическом энкодере.



Датчики Холла

основаны на возникновении разности потенциалов на краях проводника, помещённом в поперечное магнитное поле, при протекании тока, перпендикулярному полю.

Большинство магнитных энкодеров с датчиками Холла использует специальное колесо, прикрепленное к валу двигателя. По периметру данного колеса располагаются полюса с северным и южным направлениями намагничивания. Такая конструкция представляет собой магнитный аналог кодирующего диска оптических энкодеров. Колесо обычно изготавливают из феррита, литого под давлением, в который встроен массив намагниченных элементов. Типичное колесо имеет 32 полюса (16 северных и 16 южных), поэтому разрешение оказывается намного меньше, чем для оптических энкодеров или резольверов, но зачастую этого достаточно для многих приложений.

Системы контроля состояния роботов

обеспечивают требуемые эксплуатационные характеристики, включая эксплуатационную надежность R , и участвует в организации требуемых параметров его движения. Поэтому она должна содержать систему оценки положения и скорости движения R , включая M , обеспечивающую регистрацию фактического его состояния в каждый момент времени и сравнение с требуемыми параметрами движения; систему аварийной блокировки, обеспечивающую предотвращение поломок как механической системы R так и обслуживаемого им технологического оборудования при появлении случайных сбоев; систему диагностики и прогнозирования ресурса R , предназначенную для сокращения времени восстановления работоспособности R и уменьшения числа отказов путем проведения соответствующих профилактических работ.

Системы контроля состояния роботов

Система диагностики должна также включать, в зависимости от уровня автономности робота и условий функционирования, сенсорные системы для формирования «Моделей мира».

Например, температурные датчики, датчики влажности, перегрузок, вибраций и пр., служащие не только для оценки внешних воздействий, но и для обеспечения безопасности робота.

Сенсорные системы для оценки окружающей среды, в т.ч. текстуры поверхности (опорной и геометрической проходимости) (в частности могут использоваться системы технического зрения (СТЗ)), необходимые для обхода препятствий, предотвращения столкновений, планирования маршрутов движения.

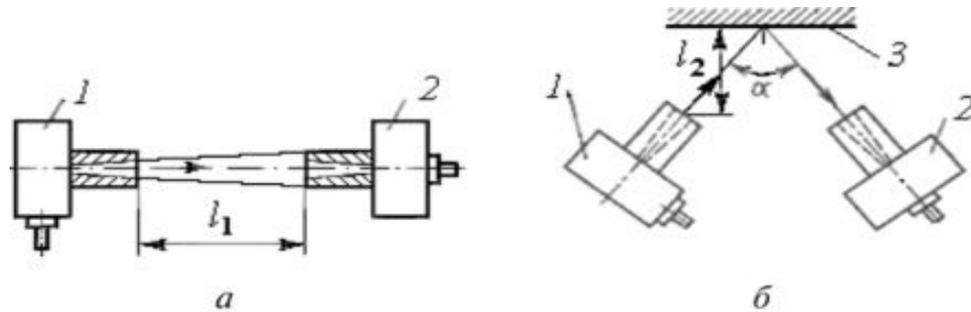
Модели собственного состояния, использующие информацию от сенсорных систем робота должны включать локальные модели надежности всех подсистем и элементов робота, включая прогнозируемые или текущие отказы.

Сенсорные устройства роботов

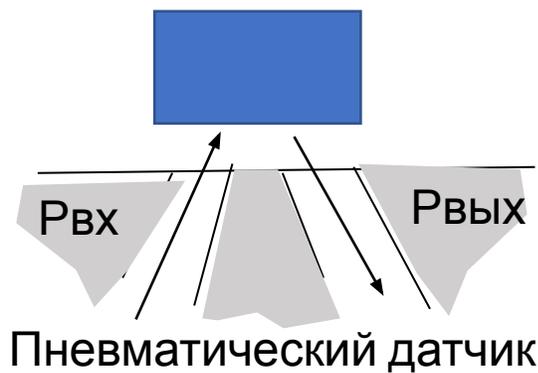


Локационные системы

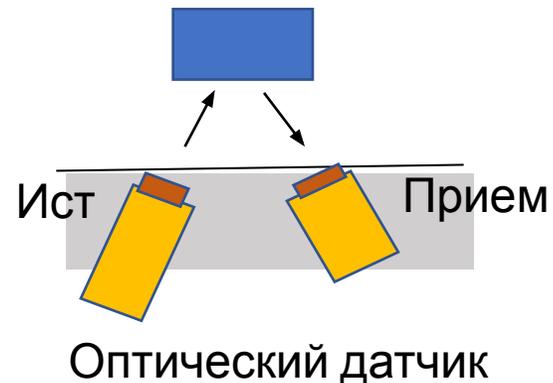
Локационные системы характеризуются отсутствием непосредственного контакта с объектами внешней среды и оперируют с их геометрическими параметрами. Значительное распространение получили локационные системы с акустическими датчиками, оптическими, пневматическими датчиками.



Схемы размещения резонансного УЗ датчика



Пневматический датчик



Оптический датчик

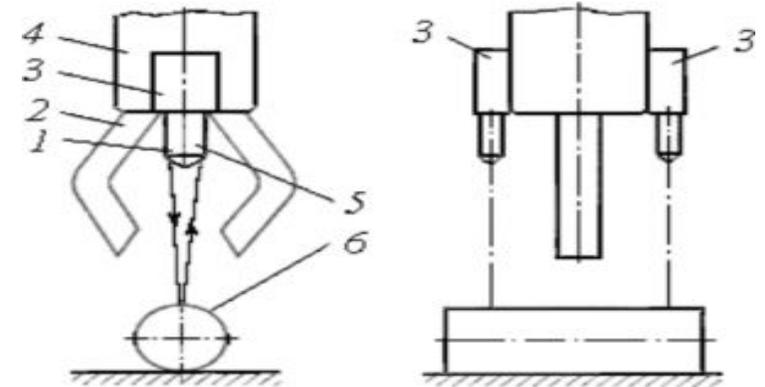


Схема захвата манипулятора с фотодатчиками расстояния и направления: 1 — излучатель; 2 — захват; 3 — датчик; 4 — рука; 5 — фотодиод (приемник); 6 — объект

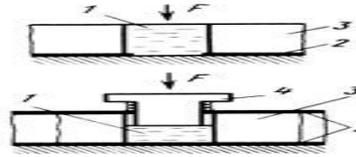
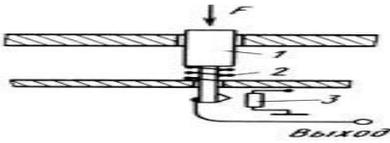
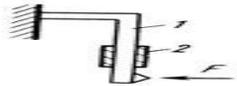
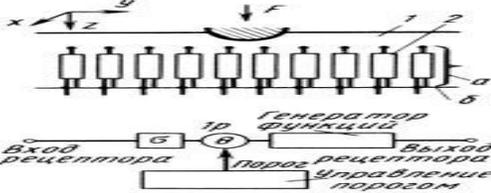
Системы искусственного осязания

Особенностью работы систем искусственного осязания является наличие контакта датчиков с поверхностью объекта. С их помощью могут быть решены следующие задачи: поиск, обнаружение предметов и определение их положения; схватывание и манипулирование с неориентированными объектами; распознавание формы предметов и их классификация; определение физических свойств объектов (масса, твердость, шероховатость поверхности, температура, тепло- и электропроводность и т. п.); надежное захватывание и удержание объекта с контролем усилия зажима (с целью предотвращения разрушения хрупких и легкодеформируемых предметов); контроль за микроперемещениями деталей при выполнении некоторых сборочных операций; контроль смещений объекта в захватном устройстве ПР при воздействии на него динамических нагрузок.

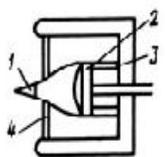
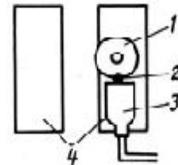
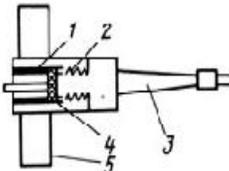
Примеры использования систем искусственного осязания

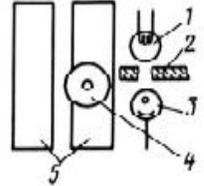
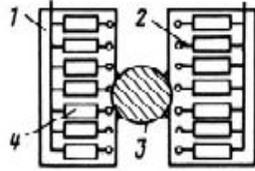
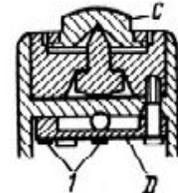
Задача	Конструктивные особенности	Принцип действия
<p>Определение местоположения предметов по отношению к руке ПР, контроль наличия предмета в захвате и контакте с предметом ПР</p> <p>Классификация предметов простых форм</p> <p>Захват неориентированных объектов</p>	<p>Микровыключатели Электропроводные полимеры Пневматически выдвижной контактный щуп</p> <p>Тактильные датчики располагаются на внутренней поверхности искусственной кисти</p> <p>Искусственный палец, содержащий четыре контактных датчика, располагаемых на наружных поверхностях пальца</p> <p>Наличие группы тактильных датчиков контактного типа, располагаемых на внутренних поверхностях захвата ПР</p>	<p>Контакт с объектом</p> <p>Классификация путем охвата поверхности предметов кистью</p> <p>Точность классификации зависит от размеров предметов</p> <p>Классификация путем ощупывания поверхности предмета, т. е. движения пальца по поверхности</p> <p>См. рис. 34</p>

Примеры пропорциональных датчиков, объединенных в матрицы

Матрица	Конструкция датчика	Принцип действия
<p>На основе электропроводящих полимеров</p>	 <p>1 — электропроводящий полимер; 2 — выводы; 3 — упругая оболочка; 4 — поршень-электрод</p>	<p>Изменение силы, направленной по нормали к поверхности объекта, приводит к изменению сопротивления токопроводящего полимера. Диапазон сопротивлений (100 ± 1) кОм</p>
<p>На основе реостатных потенциометров</p>	 <p>1 — воспринимающий элемент; 2 — пружина; 3 — потенциометр</p>	<p>Прикладываемая сила приводит к перемещению воспринимающего элемента и связанного с ним движка потенциометра</p>
<p>На основе электротензометров сопротивлений</p>	 <p>1 — тензобалка; 2 — электротензометры сопротивлений</p>	<p>Прикладываемая сила приводит к деформации (изгиб) балки, которая регистрируется электротензометрами сопротивлений</p>
<p>На основе пьезоэлектрического преобразователя</p>	 <p>а — преобразователь давления в электрические сигналы; б — порог; 1 — эластичный материал, деформирующийся соответственно форме объекта; 2 — тактильные датчики на основе пьезоэлементов (с преобразованием движения в электрические сигналы)</p>	<p>При соприкосновении матрицы с телом внутренние потенциалы распределяются. Это распределение представляется рядом плоских образцов и соответствующих им пороговых величин</p>

Датчики регистрации перемещений

Схема	Принцип действия
 <p>1 — сапфировый сердечник; 2 — пьезокерамический датчик; 3 — резиновый амортизатор; 4 — металлический амортизатор</p>	<p>Микронеровности поверхности предмета при его перемещении вызывают появление электрического сигнала на выходе пьезоэлектрика</p>
 <p>1 — резиновый ролик; 2 — магнит; 3 — магнитная головка; 4 — пальцы</p>	<p>Перемещение предмета вызывает вращение ролика, что регистрируется магнитным преобразователем</p>
 <p>1 — силиконовая резина; 2 — упругая резина; 3 — датчик давления; 4 — игла; 5 — палец</p>	<p>Смещение иглы, возникающее при перемещении предмета, регистрируется датчиком давления</p>

 <p>1 — лампа; 2 — диафрагма; 3 — фотоэлемент; 4 — резиновый ролик; 5 — пальцы</p>	<p>Вращение ролика вследствие перемещения предмета приводит к перекрытию диодного фотоэлектрического преобразователя</p>
 <p>1 — пальцы; 2 — мягкий наполнитель; 3 — предмет; 4 — датчики давления</p>	<p>Изменение состояния отдельных датчиков характеризует наличие перемещения</p>
 <p>1 — тензометры</p>	<p>Изгиб воспринимающего элемента при перемещении предмета вызывает изгиб тензометрической балки (D)</p>

Датчики усилий (моментов)

Датчики усилий (моментов) применяют в роботах, осуществляющих манипулирование хрупкими и легкодеформируемыми предметами или выполняющих простые операции сборки.

В первом случае датчики усилий позволяют регулировать усилие схвата пропорционально массе захватываемых объектов. Такие датчики обычно устанавливают в захвате, и поэтому они должны быть небольших размеров.

Применяют два способа измерения усилий: по упругой деформации чувствительного элемента и по перемещению подвижной части чувствительного элемента.

Для измерения малых усилий пригодны различные конструкционные решения с использованием проволочных и полупроводниковых тензометров сопротивления или токопроводящих полимеров. Для измерения больших усилий применяют магнитоупругие элементы, а для точных измерений - градуированные пружины и другие упругочувствительные элементы.

Си́ломоментный датчик

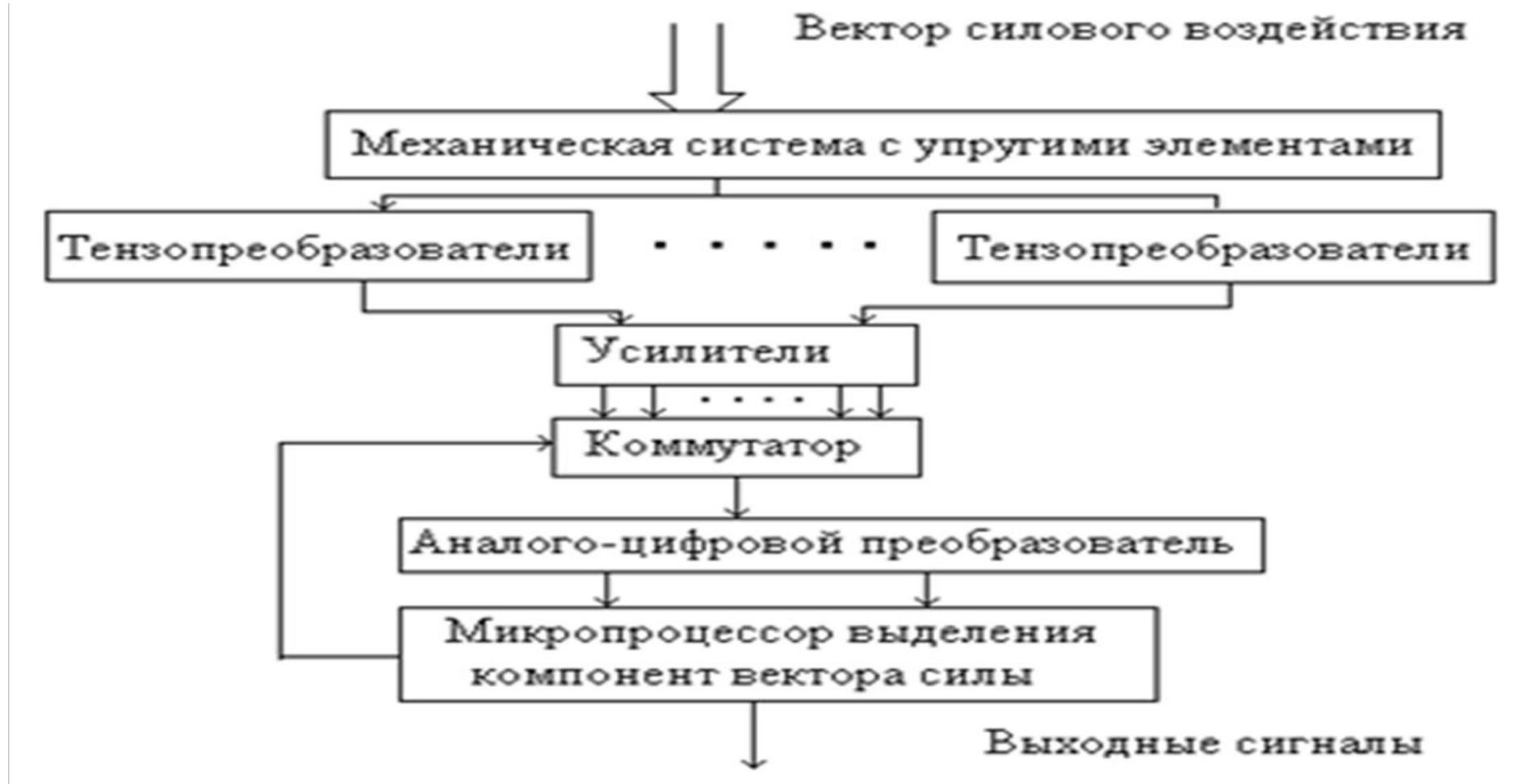
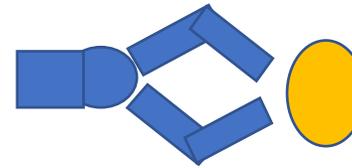
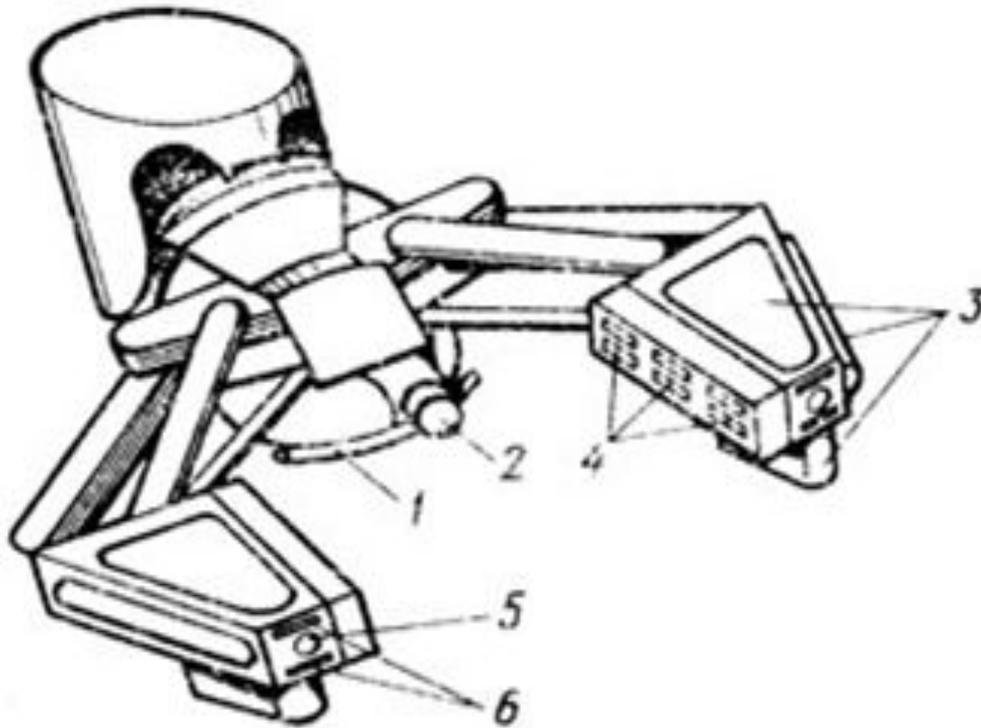
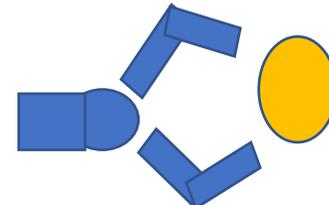


Схема си́ломоментного датчика

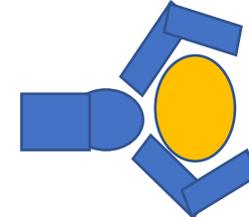
Размещение датчиков на схвате



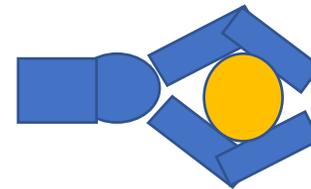
Обнаружение



Оценка
расстояния



Оценка
положения в
схвате



Оценка
надежности
захвата,
проскальзывания

11. Системы технического зрения

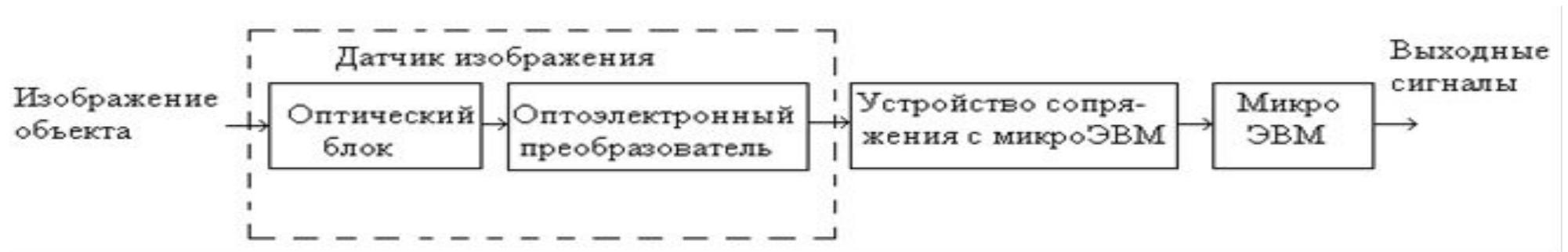
Основные задачи

Зрение – основной источник информации (у человека – 70 – 80% информации об окружающем мире).



Параметры систем наблюдения: направление и угол поля зрения, разрешение, чувствительность и пр. определяются решаемыми целевыми задачами

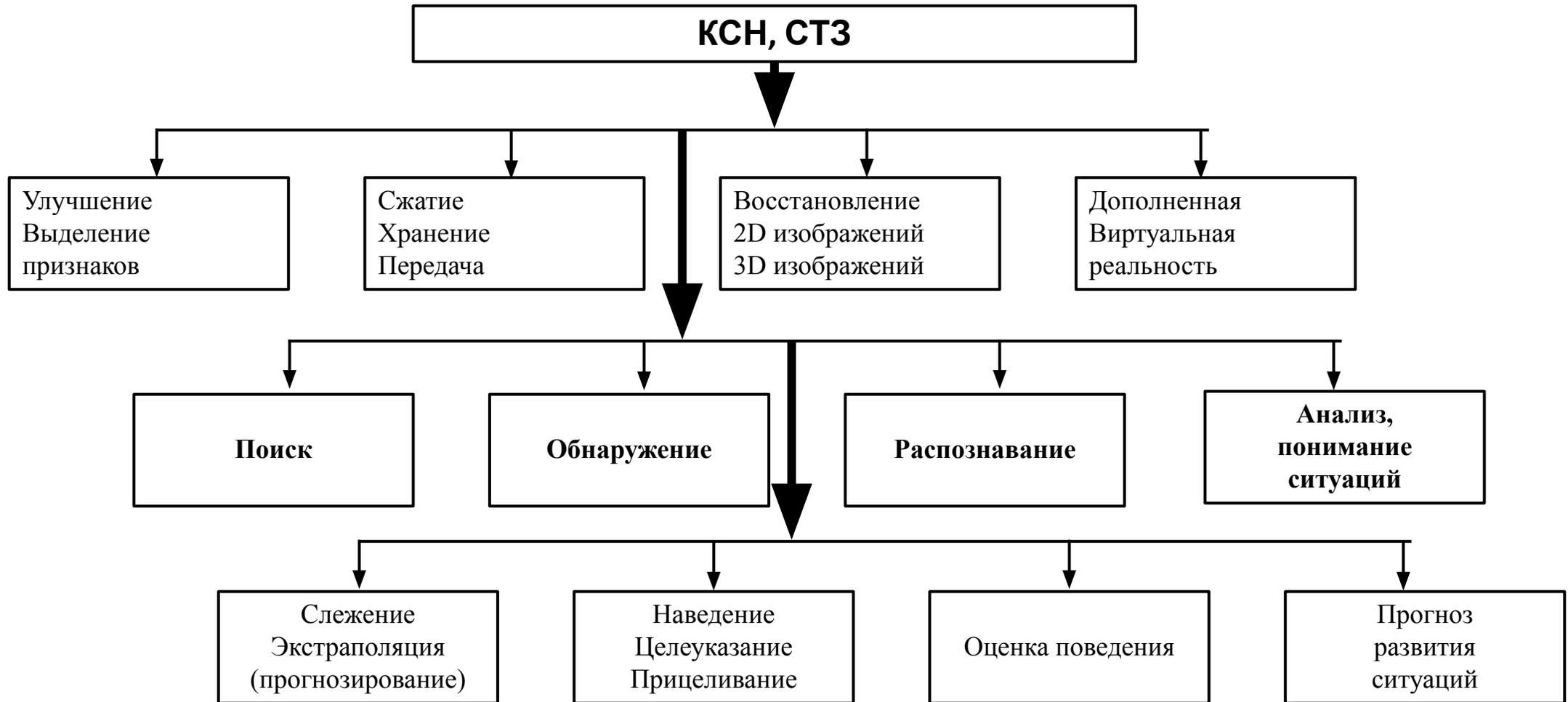
Схема комплексной системы наблюдения



В промышленных роботах преобразование и анализ изображения осуществляются ЭВМ, входящей в состав СТЗ. В частности, выделяются точки контура деталей или точки, подчеркивающие различные особенности одной детали, например отверстия, ребра и т.п. В дальнейшем выполняется анализ связности, т.е. определяется принадлежность каждой точки тому или другому контуру, являющемуся замкнутой кривой, и осуществляется сегментация изображения, представляющая собой процедуру выделения на изображении отдельных не связанных и не соприкасающихся объектов.

Решаемые задачи КСН

(Системы технического зрения – КСН, компьютерное зрение, зрение роботов)



Улучшение изображений

Дефокусировка



А

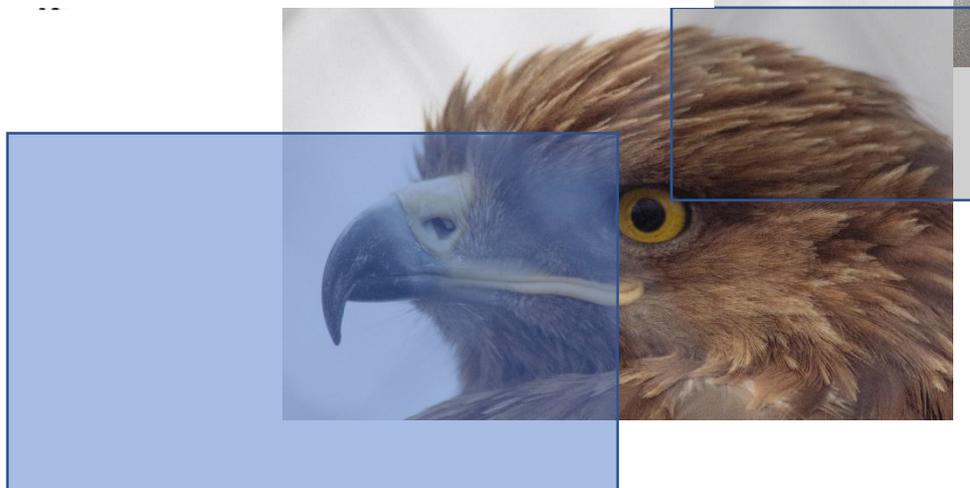


Б

Смаз



Восстановление



Локальные методы обработки изображений

Улучшение качества изображений путем локальной обработки с помощью выделения различных участков интереса на исходном изображении специальным окном.

Задачи локальной обработки: фильтрация и формирование обработанных изображений, расширение (наращивание) – сжатие объектов интереса, выделение характерных черт (признаков) и пр.



Низкочастотная
фильтрация

А

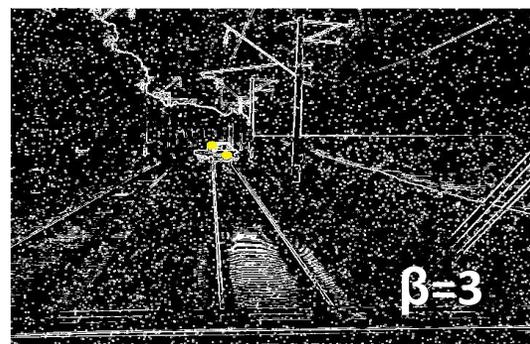
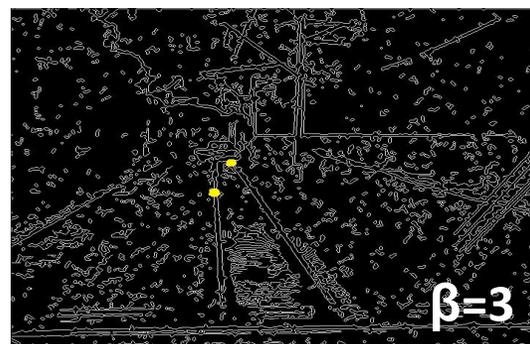
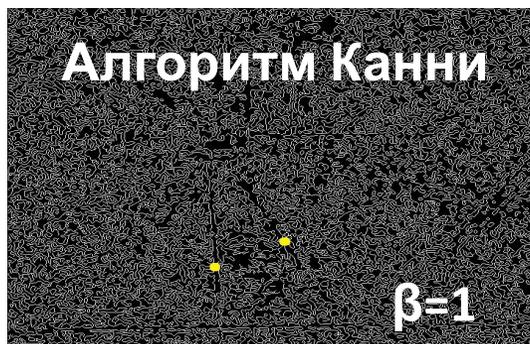
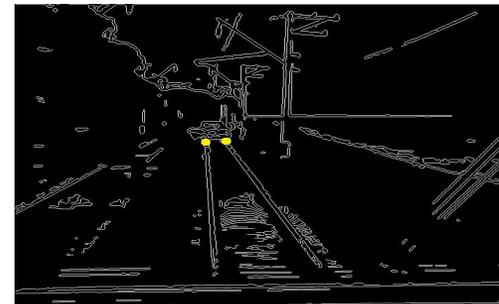


Б

Выделение краев

Алгоритмы:

- Робертса,
- Собела,
- Превитта,
- Канни и др.

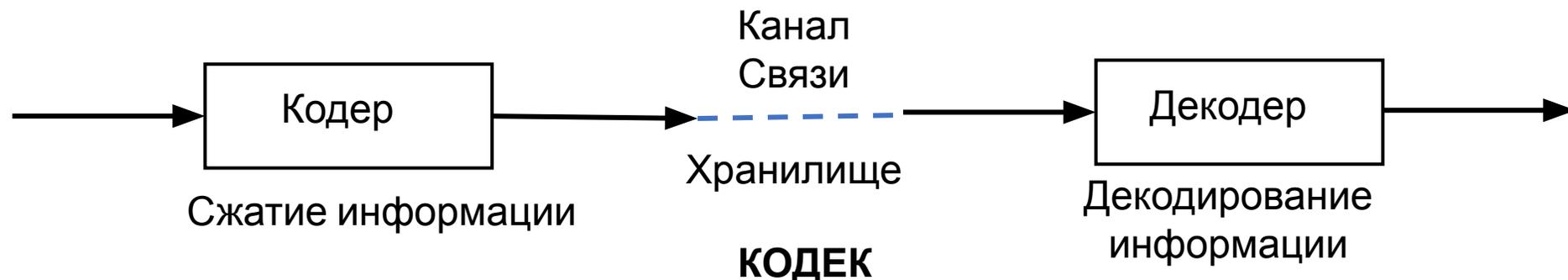


Сжатие изображений

- Обычно принимаемые изображения содержат большой объем избыточной информации. Избыточность изображений проявляется в наличии корреляционной связи между яркостями отдельных (в частности, смежных) пикселей: обычно основная площадь изображения занята областями, имеющими постоянную или мало изменяющуюся яркость.
- Эта избыточность приводит к существенным экономическим потерям, связанным с необходимостью необоснованного расширения полосы пропускания информационных каналов, хранением в памяти ненужной информации, уменьшением эффективности или скорости решения многих прикладных задач.

Сжатие изображений может реализовываться с потерей и без потери информации.

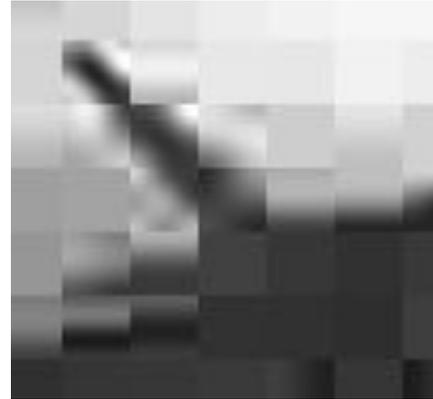
В первом случае, в процессе сжатия отбрасывается наименее важная (с точки зрения решаемой задачи) информация. При этом можно заранее задавать требуемые коэффициенты сжатия исходных изображений. При увеличении коэффициентов сжатия качество восстановленных изображений будет ухудшаться.



Алгоритмы и стандарты:

- RLE, LZ, DCT, Хаффмана, вейвлет- преобразования, ДКИМ,
- JPEG, MPEG, ...

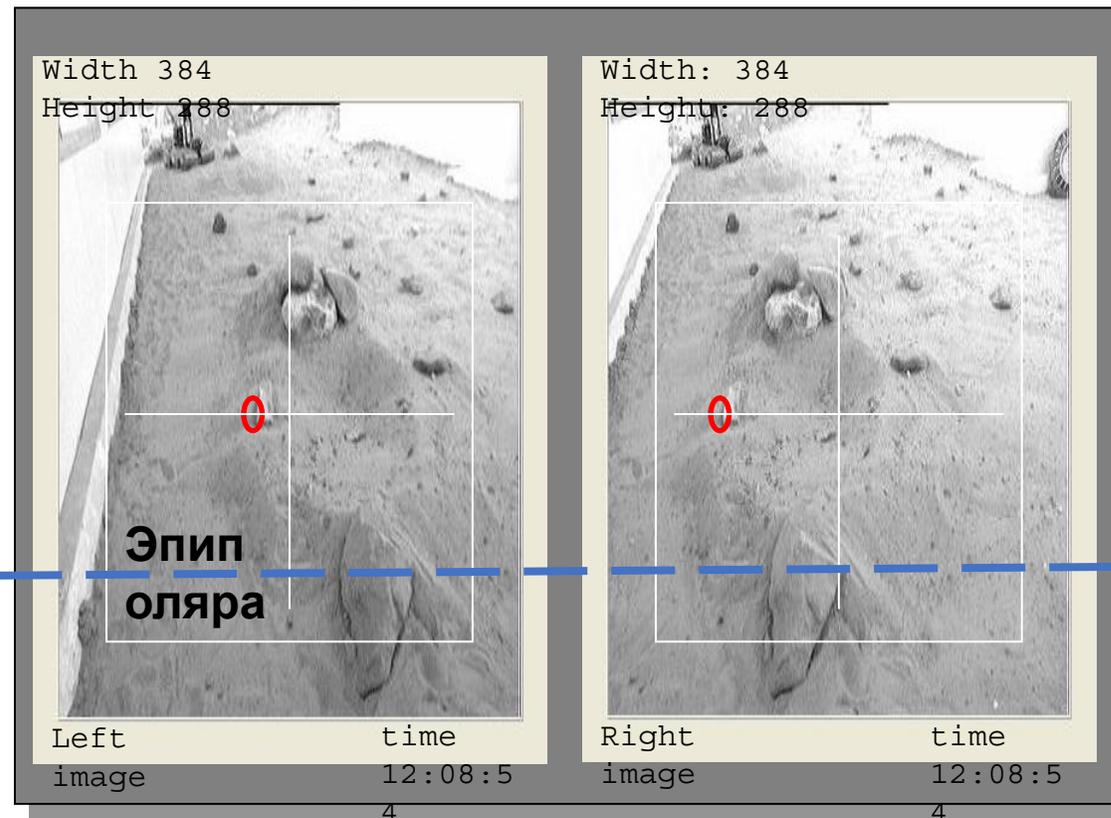
Дискретное косинусное преобразование (**DCT**)



Восстановление **3D** изображений.

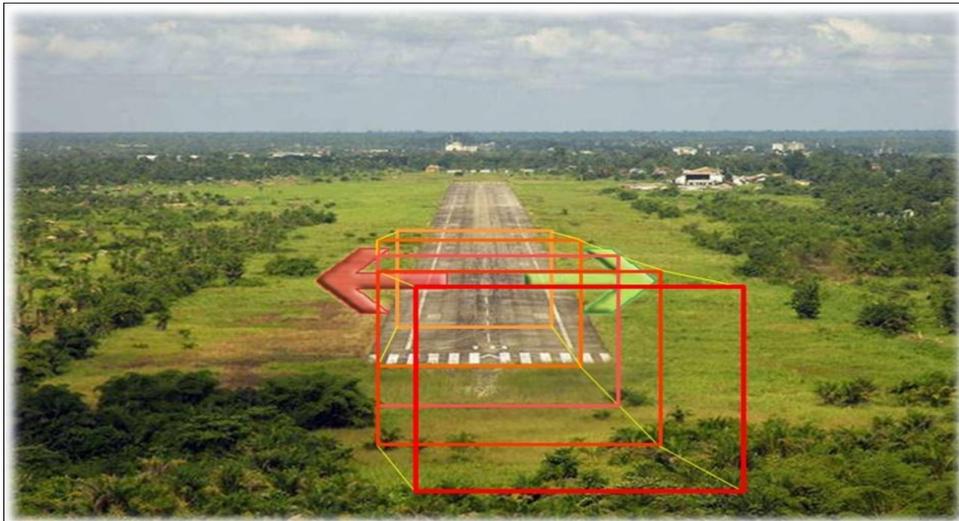
Пример: стереозрение

Идентификация сопряженных точек



Могут использоваться: дальномеры различных типов, в т.ч. лазерные сканеры, системы со структурированной подсветкой, методы, основанные на анализе оптического потока и др.

Дополненная и виртуальная реальность



Поиск и обнаружение

Объекты поиска

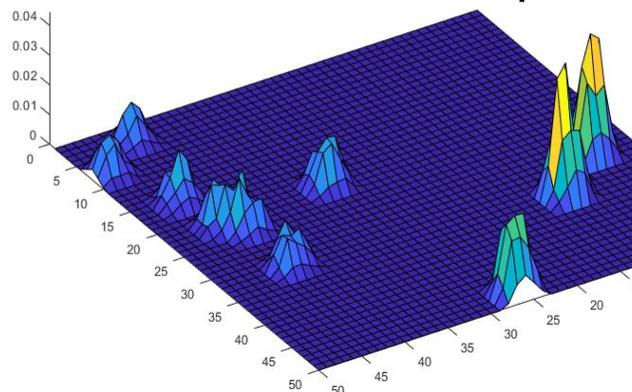
- Площадные, малоразмерные, протяженные, точечные и т.д. объекты;
- Контрастные, слабоконтрастные, неконтрастные, ... объекты;
-
- Стационарные (неподвижные) объекты, мобильные

Например:

- Объекты противника (цели);
- Наземные ориентиры;
- Потерпевшие бедствия суда;
- Редкие животные;
- Автомобиль

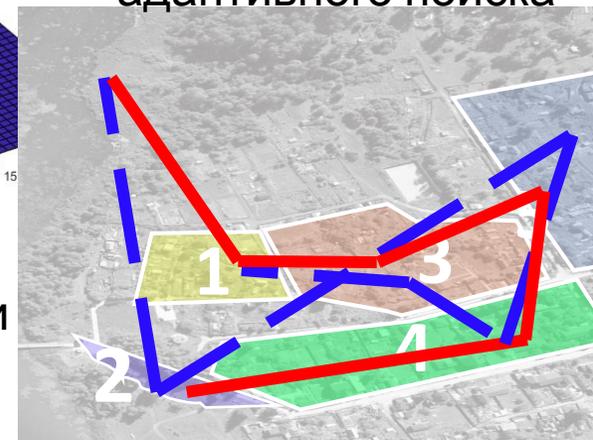
Поиск

- На площади (пространстве);
- На линии (границе, периметру);
- Вторичный;
- Регулярный, случайный;
- Адаптивный, сплошной;
- Кооперативный, антагонистический

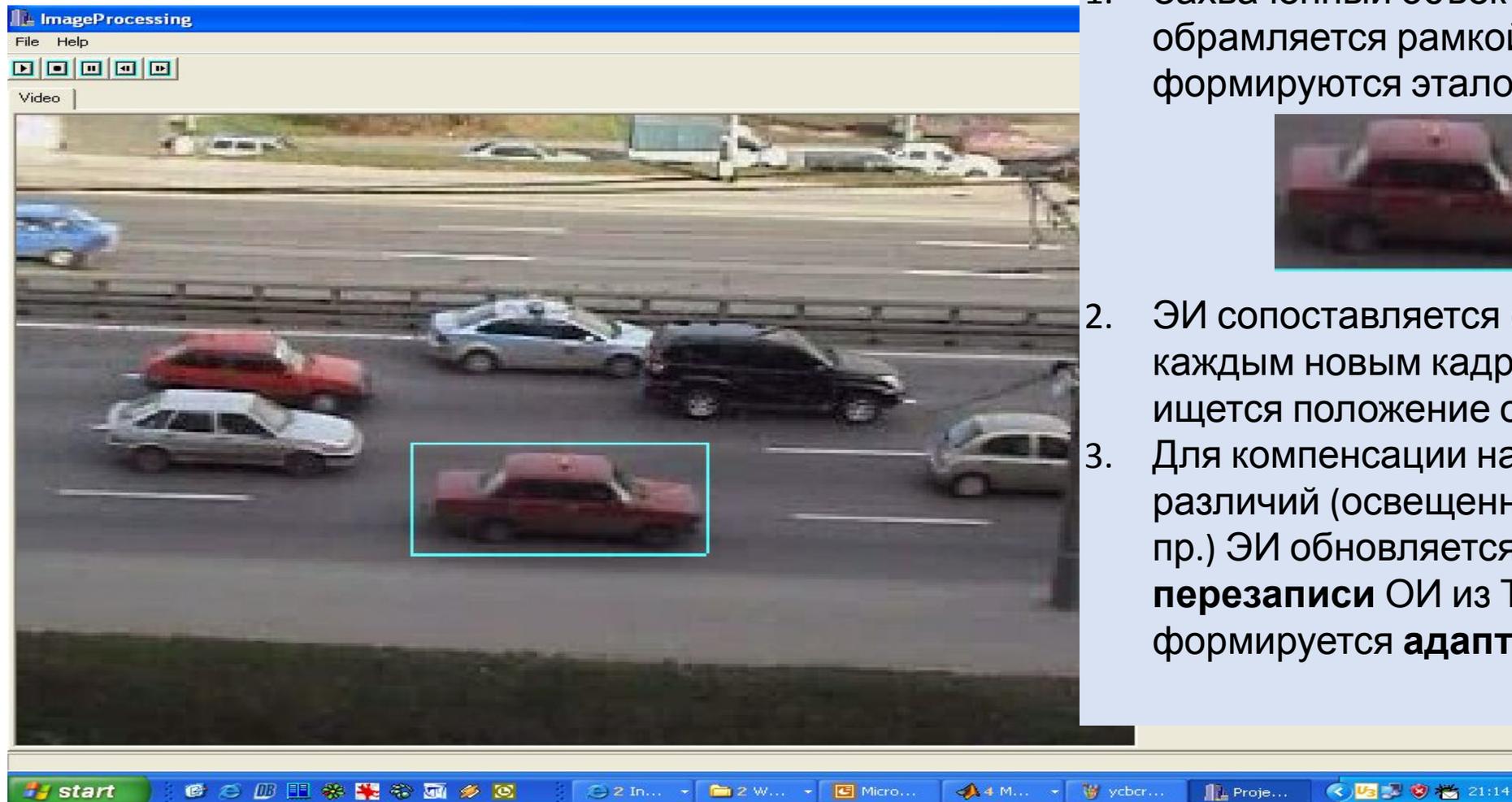


Априорные вероятности присутствия объектов

Траектории вторичного адаптивного поиска



Обнаружение (захват), слежение



1. Захваченный объект интереса (ОИ) обрамляется рамкой и формируются эталон (ЭИ)



2. ЭИ сопоставляется (по блокам) с каждым новым кадром, на котором ищется положение объекта;
3. Для компенсации накапливаемых различий (освещенность, ракурс и пр.) ЭИ обновляется путем **перезаписи** ОИ из ТИ → ЭИ. Т.е. формируется **адаптивное ЭИ**

Поисковые ситуации



Антагонистический
поиск нарушителя,
слежение



Кооперативный
поиск



Вторичный поиск



Поиск на площади,
антагонистический поиск

Распознавание

Распознавание лиц



Распознавание пород рыб



Распознавание предметов



Анализ и прогноз ситуаций (понимание ситуаций)



Что происходит?

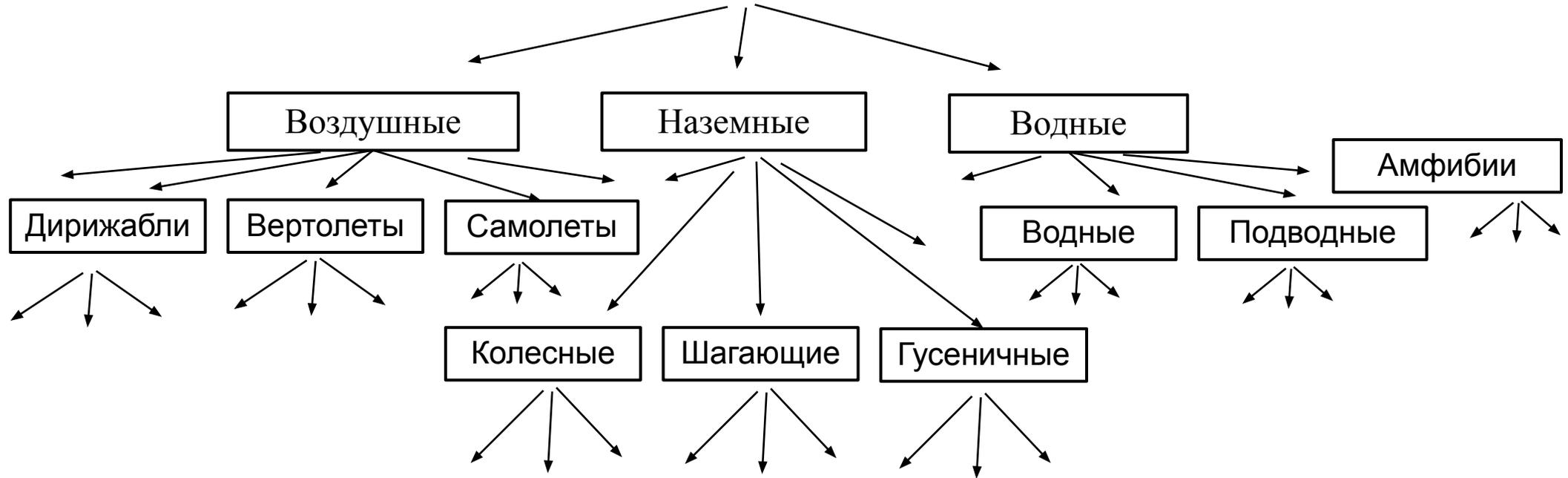
Что произойдет?

Можно ли решить целевую задачу?

Какие объекты и связи важные?

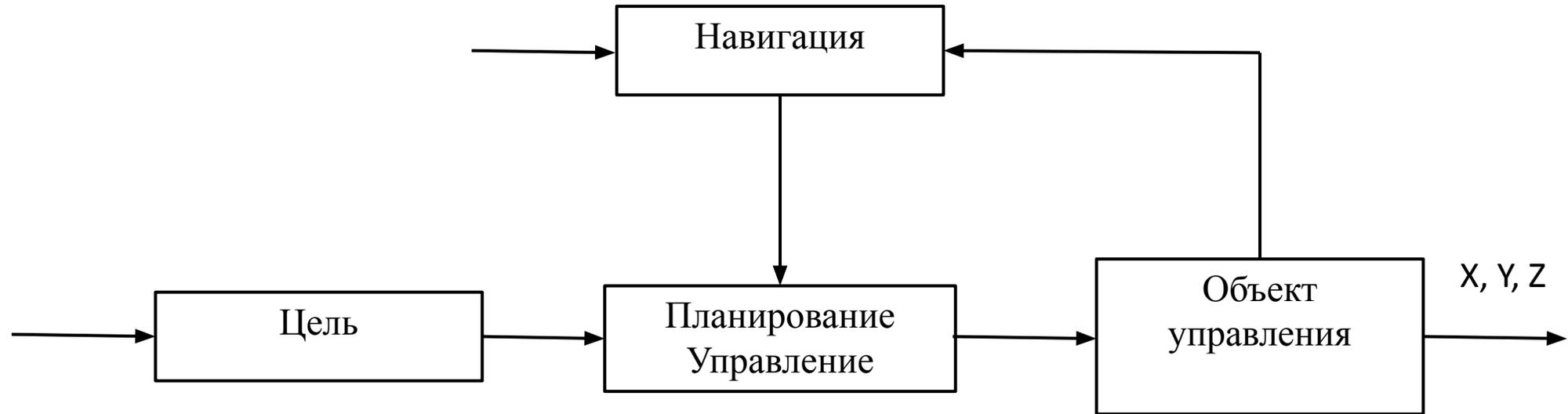


12. Мобильные роботы

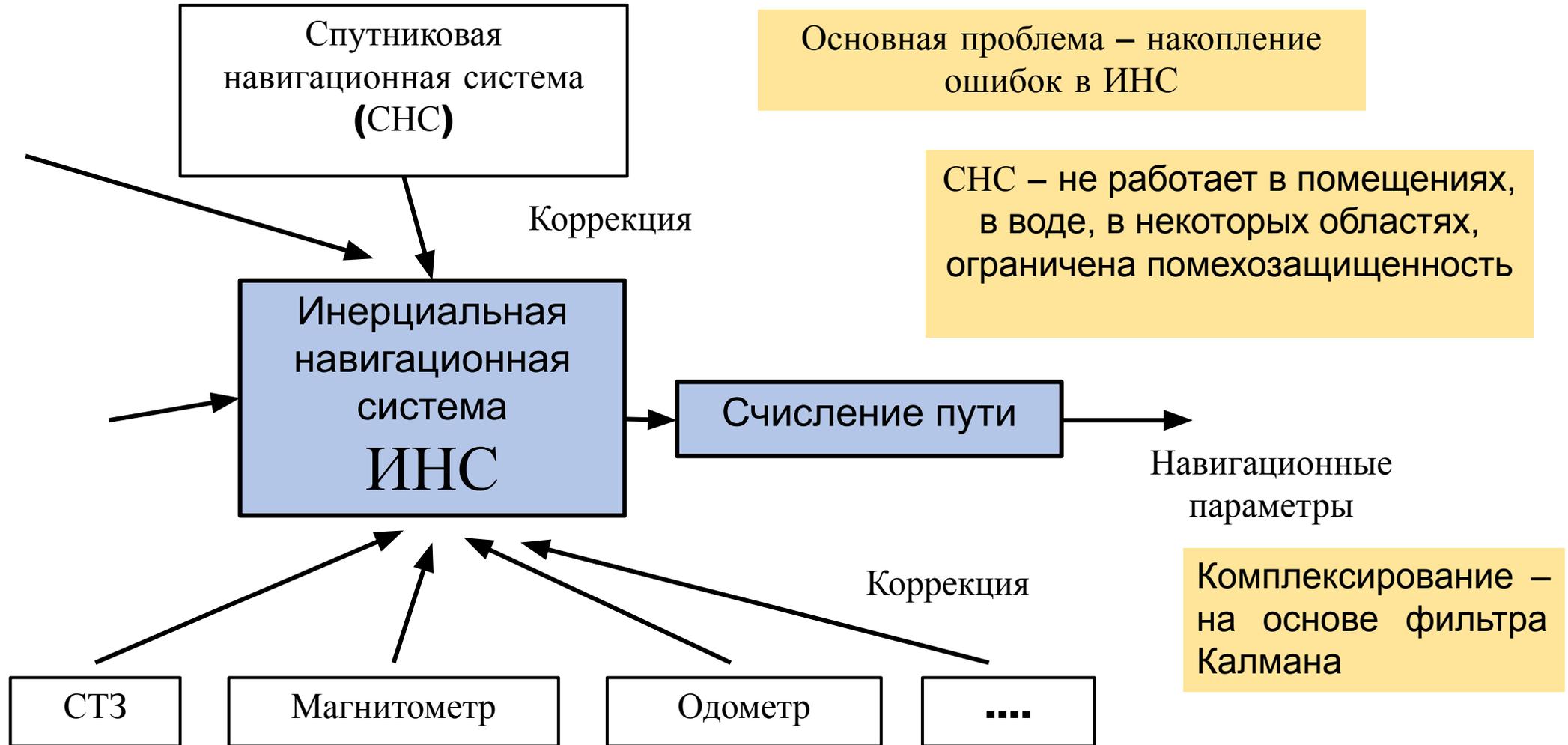


1. Планирование маршрута (движение в заданную точку, район);
2. Обход препятствий;
3. Поиск объектов (ориентиров, целевой точки, мобильных объектов)
4. Слежение, сопровождение;
5. Наведение;
6. Уход, отклонение от встречи, отступление.

Организация движением МР

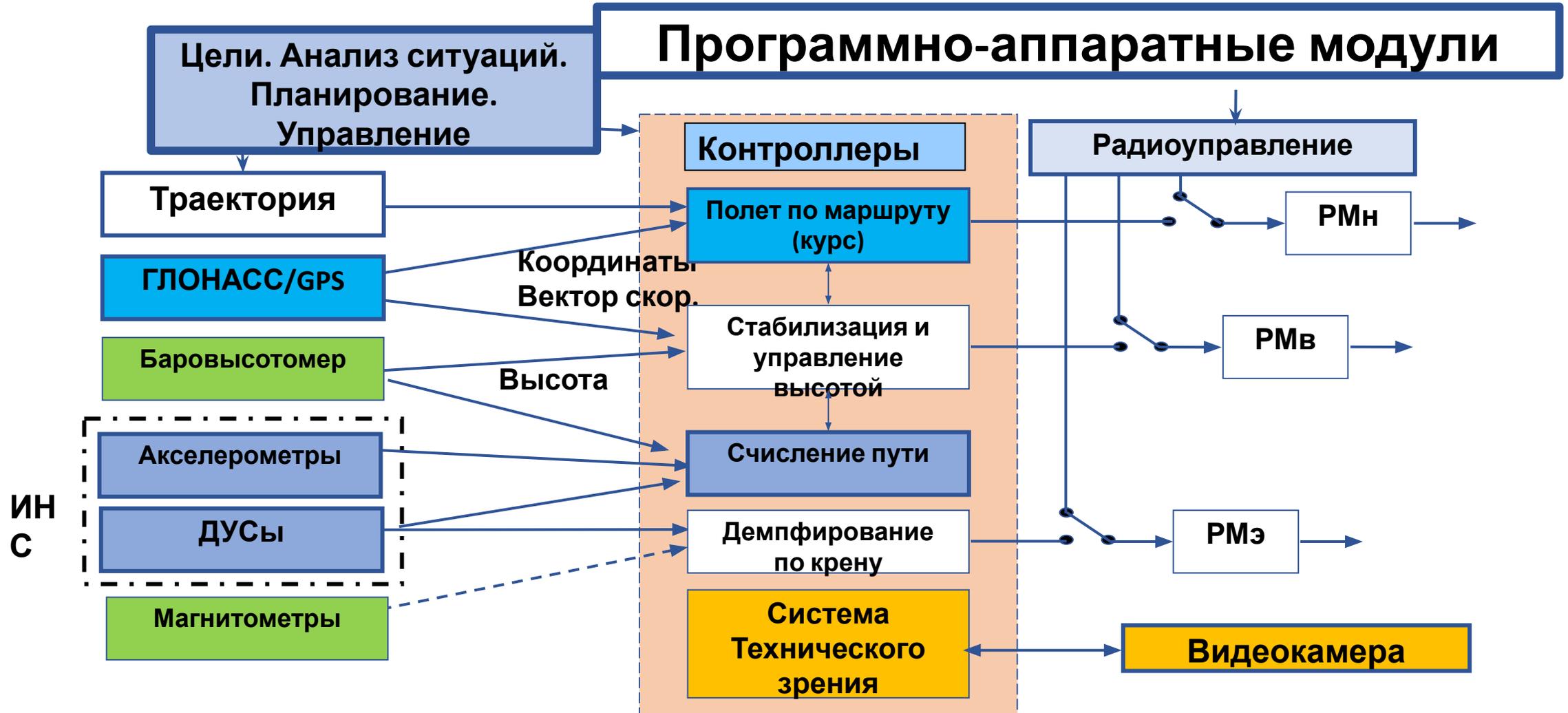


Навигация роботов





Система управления и навигации на примере БЛА



Задачи, решаемые БЛА (БПЛА)

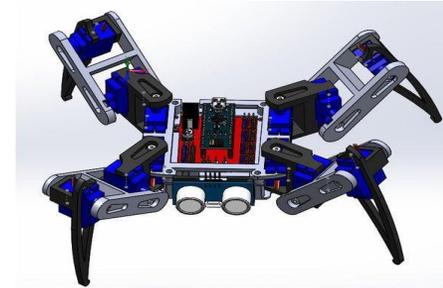
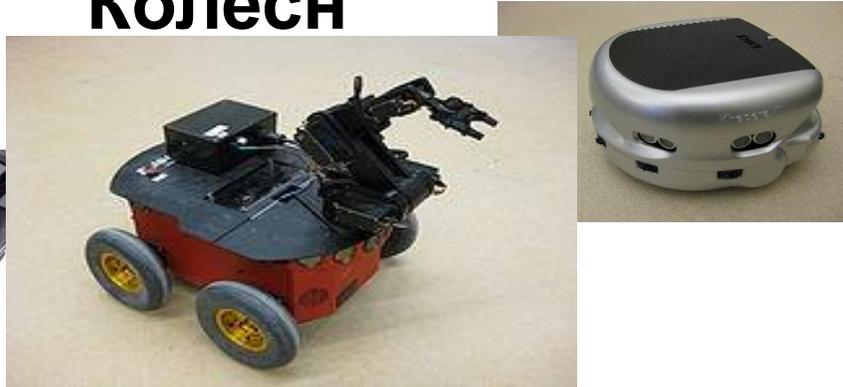
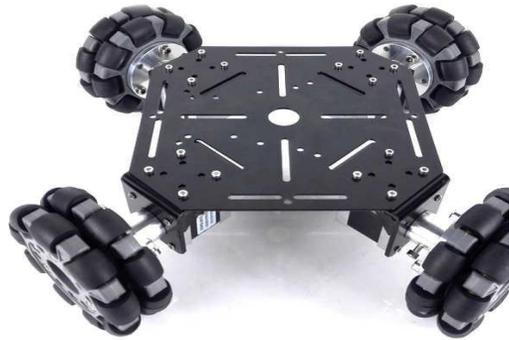
1. Мониторинг;
2. Разведка (скрытность, маскировка, обход ПВО и пр.);
3. Транспорт;
4. Доставка грузов;
5. Поиск объектов, слежение, сопровождение;
6. Наведение;
7. Ликвидация пожаров;
8.

Показатели качества (ПК) и особенности планирования определяются целевыми задачами (ЦЗ)

МОБИЛЬНАЯ ПЛАТФОРМА (МП)

Различные показатели качества (ПК) по скорости, проходимости, грузоподъемности, маневренности, стоимости, экономичности

Колесн



Гусеничн



Шагающ ие

Навигация мобильной платформы (определение координат и ракурса)

Инерциальная НС

- автономность,
- помехозащищенность,
- высокая скорость.

Необходима коррекция из-за накопления ошибки

Глобальная НС

- Спутниковая навигация
(не работает в помещениях)

Визуальная НС

- Ориентиры: объекты, углы линии,
 - Метки: QR, ARUCO и т.п.,
 - SLAM
 - ИК метки
- Требуется установка меток или сложные вычисления

Фильтр Калмана Data Fusion

Оценки положения и ориентации

Локальные НС

- Ультразвуковые маяки,
- Радио маяки,
- Световые маяки «LiFi».

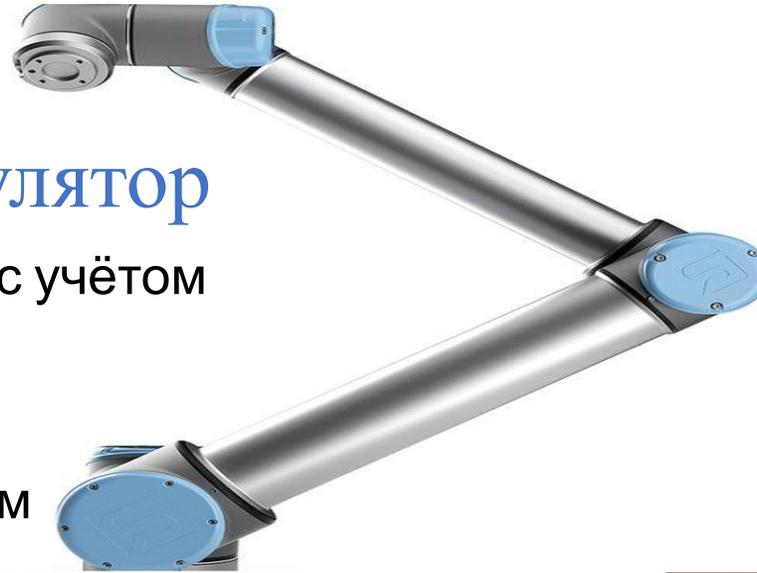
Требуется установка маяков

Основная проблема – точность оценки координат



13, 14. Манипулятор

- Разработка манипулятора с учётом грузоподъёмности
- Разработка схвата
- Управление манипулятором
- Очувствление манипулятора



Манипуляторы

1. Основные понятия;
2. Классификация манипуляторов по управлению;
3. Кинематические схемы;
4. Степени подвижности. Движения;
5. Конструкции;
6. Коэффициент сервиса;
7. Построение системы координат.

Манипуляционным роботом называют техническое устройство (машина), предназначенное для выполнения работ универсального характера, исполнительными устройствами которого служат манипуляторы (механические руки).

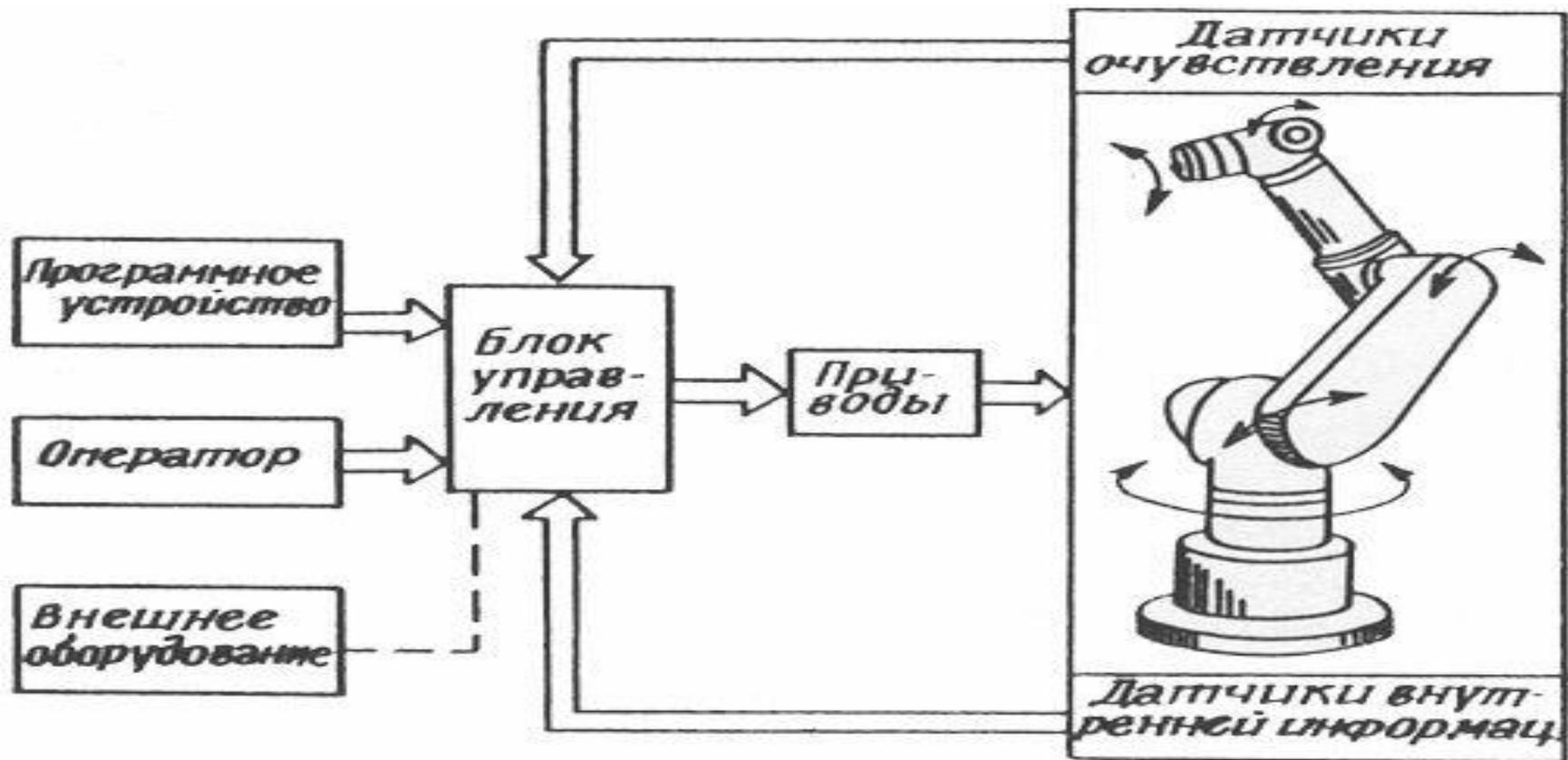
- **Число степеней подвижности** манипулятора – сумма возможных координатных движений объекта манипулирования относительно опорной системы (стойки, основания) робота.
- **Рабочее пространство** манипулятора – пространство, в котором может находиться исполнительный орган робота в момент работы.
- **Зона обслуживания манипулятора** – часть рабочего пространства, где полностью сохраняются заданные (паспортные) значения технических характеристик манипулятора.
- **Достижимость** – представляет количественную оценку величины объема рабочего пространства.
- **Границы достижимости манипуляционной системы** – границы рабочего пространства, т.е. границы до которых робот может дотянуться своей характерной точкой (исполнительным органом).
- **Манипулятивность** – свойство манипулятора правильно ориентировать захватное устройство. По мере приближения захвата к границам рабочего пространства, свойство манипулятивности уменьшается, а на границе достижимости полностью утрачивается.
- **Мобильность** – свойство манипулятора, оценивающее достижимую скорость перемещения характерной точки захвата в рабочем пространстве. В каждой конфигурации манипуляционной системы достижимые скорости захвата составляют определенный интервал, ограничиваемый возможностями приводов отдельных звеньев.
- **Приемистость** – свойство, оценивающее ускорение характерной точки захвата манипулятора в момент его трогания из положения покоя. Достижимые ускорения, как и достижимые скорости, в каждой конфигурации манипуляционной системы составляют определенный интервал.
- **Точность** (Погрешность позиционирования) – отклонение заданной позиции исполнительного механизма от фактической при многократном позиционировании (повторении движения). Погрешность отработки траектории рабочего органа манипулятора – отклонение фактической траектории от заданной по программе.
- **Податливость** – свойство исполнительной системы реагировать на управляющие воздействия. Это свойство сильно влияет на точность манипулятора.
- **Грузоподъемность манипулятора** – наибольшая масса объектов манипулирования (включая массу захватного устройства), которые могут перемещаться манипулятором при заданных условиях (при максимальной или минимальной скорости, при максимальном разворачивании звеньев и т.д.).
- **Экономность**
- **Быстродействие**

В зависимости от степени участия человека в управлении манипуляционные роботы подразделяются на три типа: автоматические, биотехнические и интерактивные.

В автоматических манипуляционных роботах выделяют три разновидности в зависимости от связи с человеком-оператором: **программные, адаптивные и интеллектуальные.**

- **Программные роботы** работают по жесткой программе, заложенной в устройстве памяти, однако их можно перенастраивать на работу с другой жесткой программой действий. Их также называют автоматическими программными манипуляторами или промышленными роботами. Простота изменения программы, т. е. возможность переобучения промышленных роботов новым операциям, сделала эти роботы достаточно универсальными и гибко перенастраиваемыми на различные классы задач.
- **Адаптивные роботы** отличаются от программных большим количеством внешних (оптических, телевизионных, тактильных) и внутренних датчиков. Важной частью адаптивных роботов является их развитое программное обеспечение, предназначенное для обработки информации, поступающей от внешних и внутренних датчиков и оперативного изменения программы движения. Благодаря способности воспринимать изменения во внешней среде и приспосабливаться к существующим условиям функционирования адаптивные роботы могут манипулировать с неориентированными деталями произвольной формы и производить сборочные операции.
- **Интеллектуальные роботы** могут вести диалог с человеком, распознавать и анализировать сложные ситуации, планировать движения манипулятора и осуществлять их реализацию в условиях ограниченной информации о внешней среде. Все это обеспечивается совершенством управляющих систем, включающих в себя элементы искусственного интеллекта, способность к обучению и адаптации в процессе работы.

Автоматический манипуляционный робот



Биотехнические манипуляционные роботы

- Различают три разновидности управления биотехническими манипуляционными роботами: **копирующее, командное и полуавтоматическое.**
- **Копирующее управление** осуществляется с помощью задающего устройства, кинематически подобного исполнительной руке робота. Такие системы называют копирующими манипуляторами. Человек-оператор перемещает задающее устройство, а манипулятор повторяет эти движения одновременно по всем степеням подвижности.
- В случае **командного управления** оператор с командного устройства дистанционно задает движение звеньям манипулятора путем поочередного включения соответствующих приводов.
- При **полуавтоматическом управлении** оператор, манипулируя управляющей рукояткой, имеющей несколько степеней свободы, задает движение схвата манипулятора. ЭВМ по сигналу от управляющей рукоятки формирует сигналы управления на приводы всех звеньев манипулятора.
- Существуют также биотехнические системы, в которых управление манипулятором осуществляется при помощи биоимпульсов от соответствующих мышц человеческой руки.

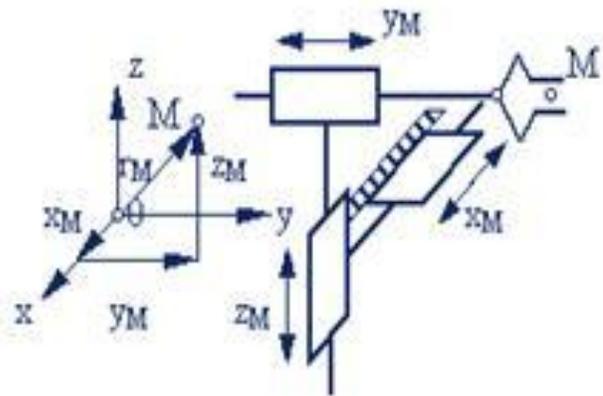
Интерактивные манипуляционные роботы

отличаются активным участием человека в процессе управления, которое выражается в различных формах взаимодействия его с ЭВМ.

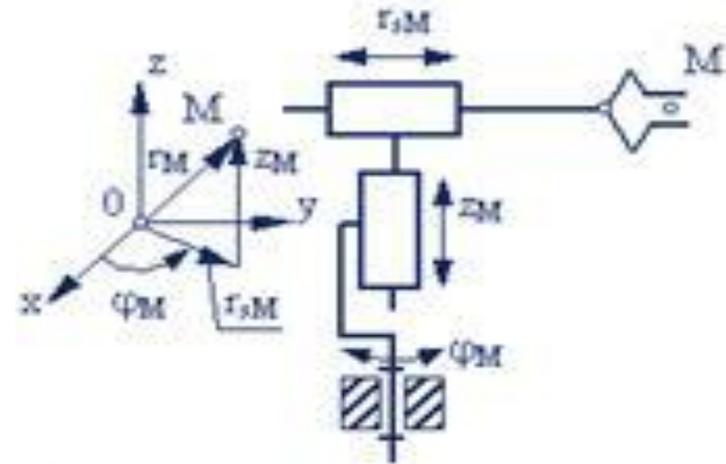
Различают три разновидности управления: **автоматизированное, супервизорное и диалоговое.**

- При **автоматизированном управлении** простые операции робот выполняет без управляющего воздействия со стороны оператора, а остальные - при участии оператора в биотехническом режиме.
- **Супервизорное управление** отличается тем, что весь цикл операций разбивается на части, выполняемые манипуляционным роботом автоматически, но переход от одной части к другой осуществляется оператором путем подачи соответствующих команд.
- При **диалоговом управлении** оператору и ЭВМ представляется возможность совместно принимать решения и управлять манипулятором в сложных ситуациях.

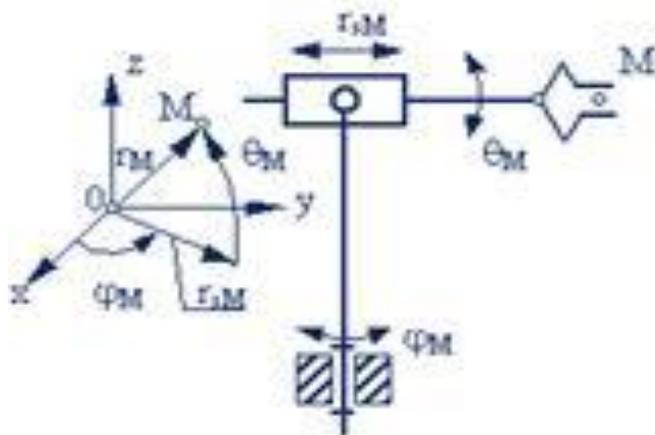
Кинематические типы манипуляторов



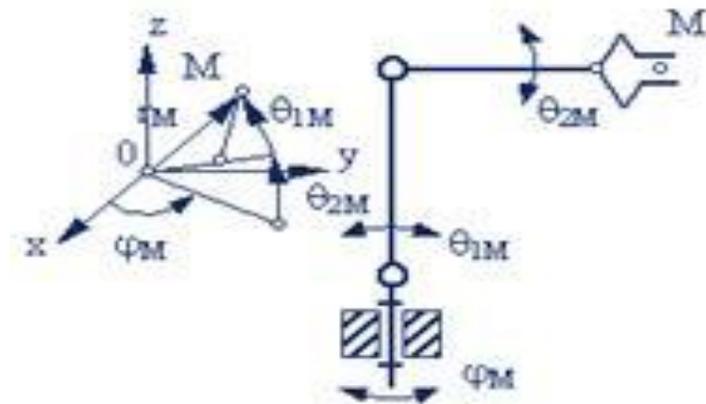
Декартовый тип



Цилиндрический тип



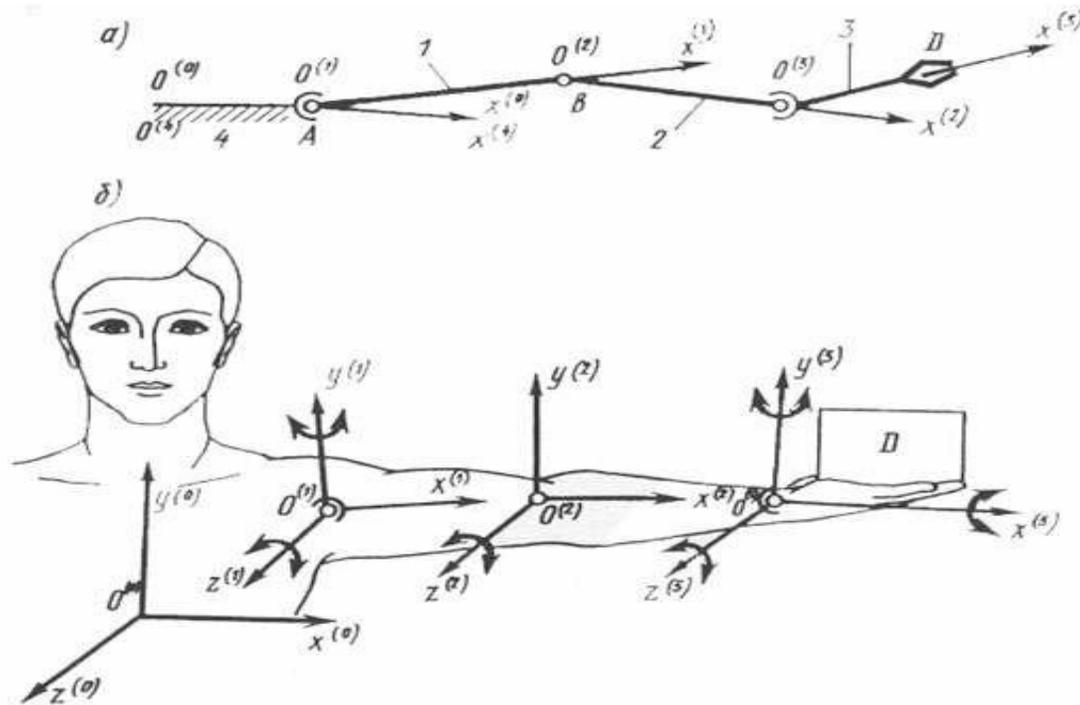
Сферический тип



Ангулярный тип

Выбор кинематической схемы манипулятора

В процессе выполнения операций с объектами манипулирования в большинстве случаев манипуляторы имитируют движение рук человека. Поэтому структурная схема манипулятора должна обладать кинематическими характеристиками, аналогичными характеристикам руки человека.



Формула Сомова-Малышева

Оценка степени подвижности

Структурная формул кинематической цепи общего вида

$$W=6n-p_1-2p_2-3p_3-4p_4-5p_5,$$

где n – число подвижных звеньев кинематической цепи,
 p_i – число пар i -го класса

Для руки:

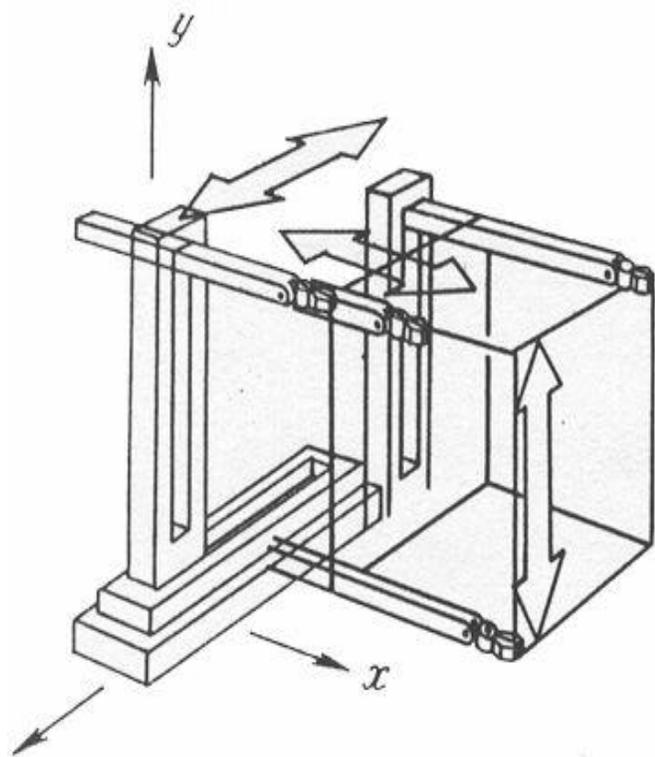
- Плечевой сустав – три степени свободы (p_3),
- Локтевой сустав – одна степень свободы (p_5),
- Предплечье – (p_5),
- Лучезапястный сустав (p_4),.
- $W = 7$

Движения манипулятора

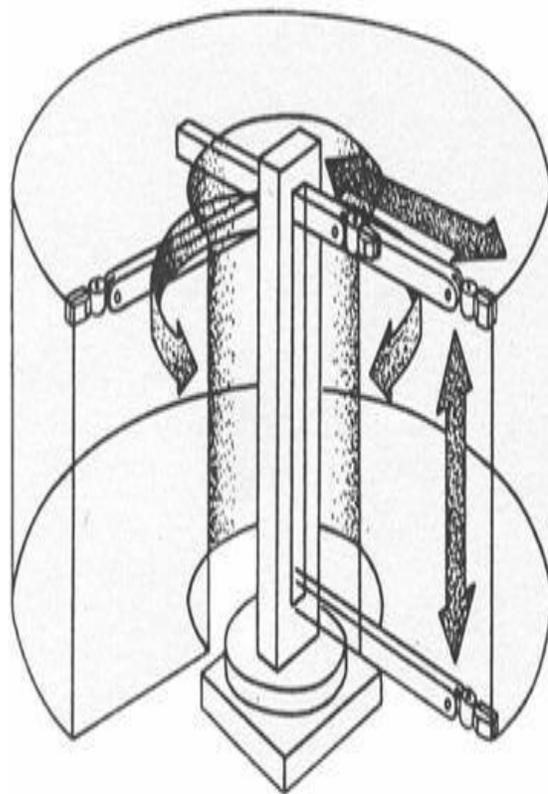
Выделяют три основные группы движений: **глобальные, региональные и локальные.**

- **Глобальные движения** осуществляются путем перемещения подвижного основания робота с помощью двигательной системы. В стационарных роботах глобальные движения отсутствуют. Их станины неподвижно крепятся к полу, кронштейну или потолку возле технологического оборудования.
- **Региональные движения** - перемещения схвата робота в различные зоны рабочего пространства, определяемого размерами звеньев манипулятора.
- **Локальные движения** - перемещения схвата, соизмеряемые с его размерами, в частности ориентация в малой зоне рабочего пространства.

Конструкции манипуляторов

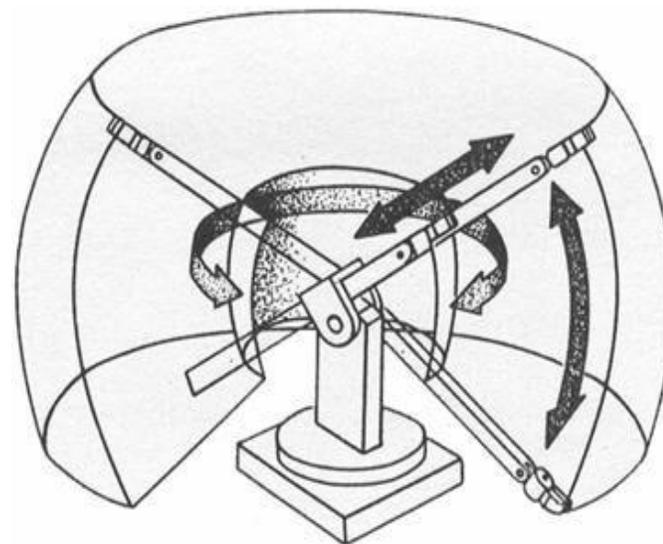


Максимальная
точность

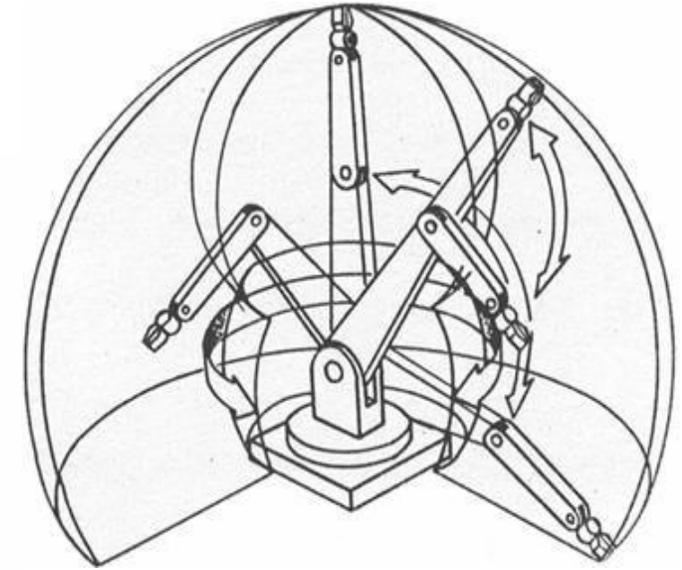
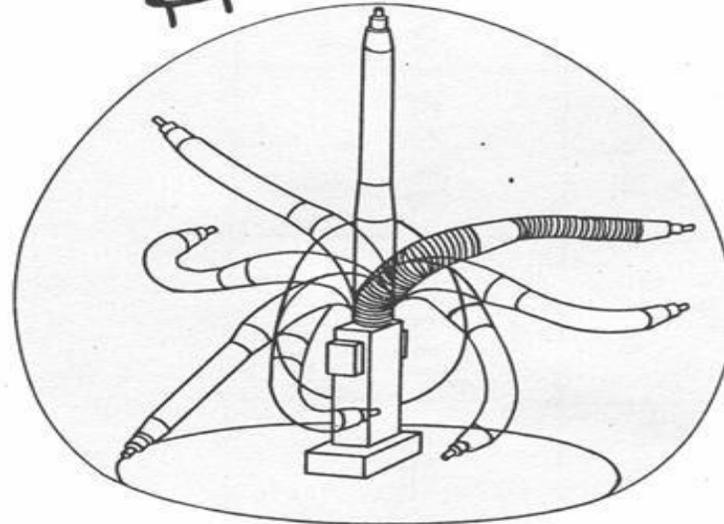
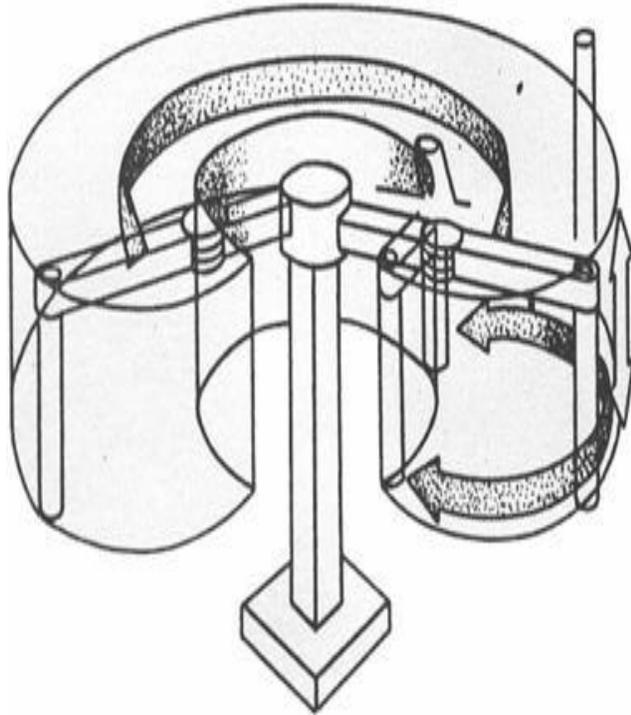


Линейное перемещение Δx от
угла поворота α

$$\Delta x = L \sin \alpha$$

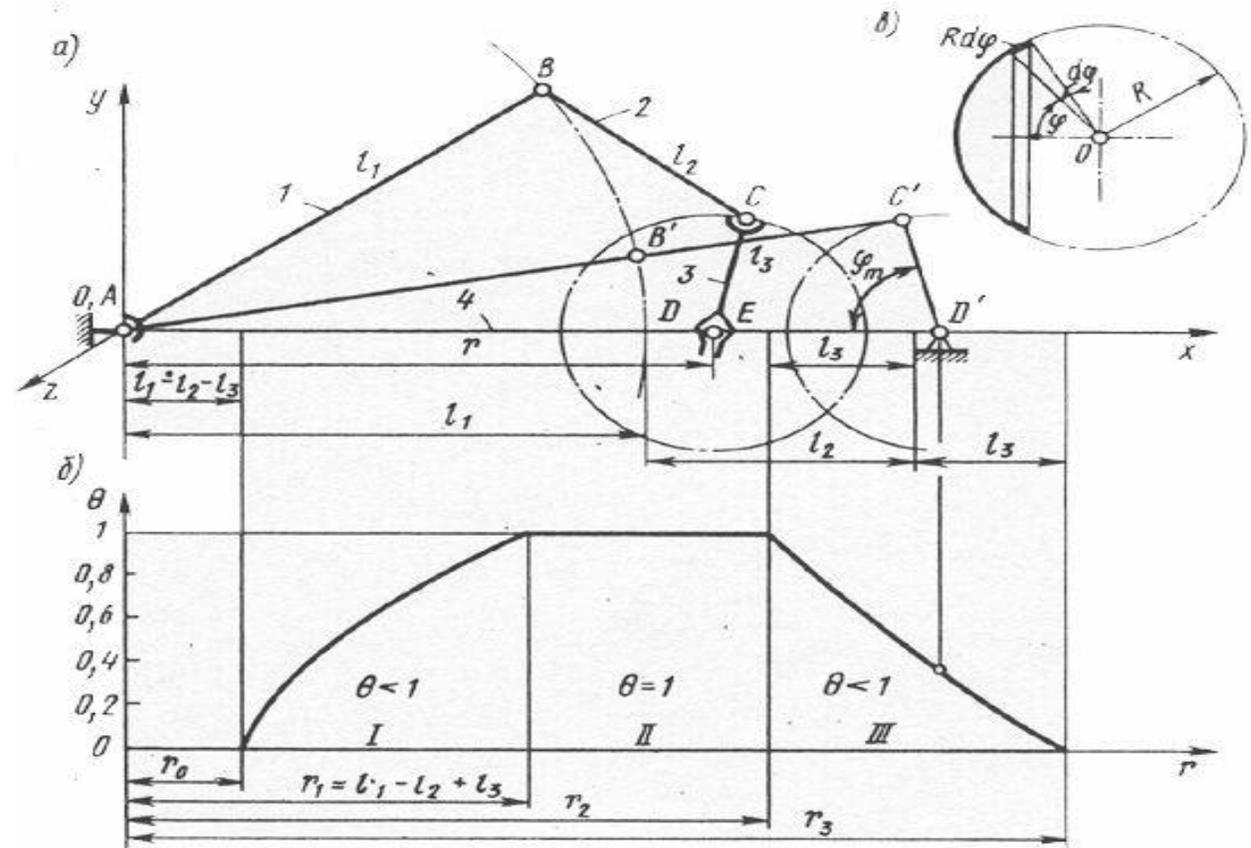
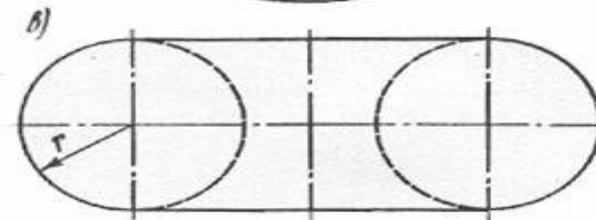
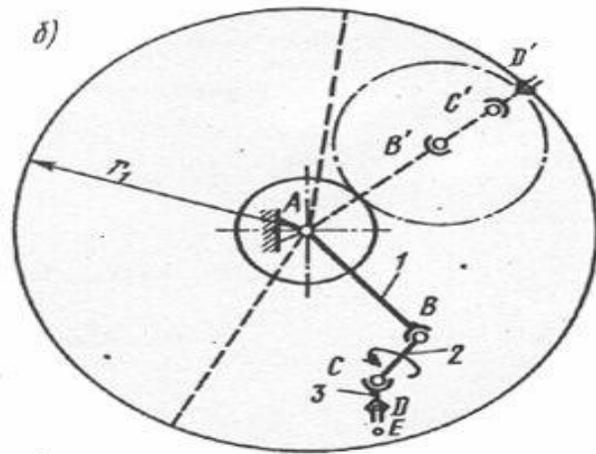
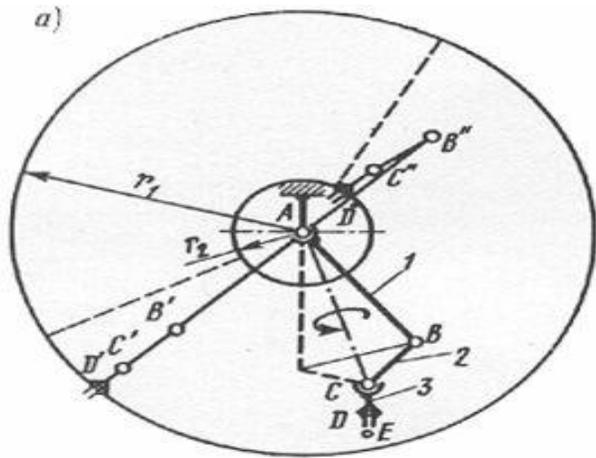


Конструкции манипуляторов

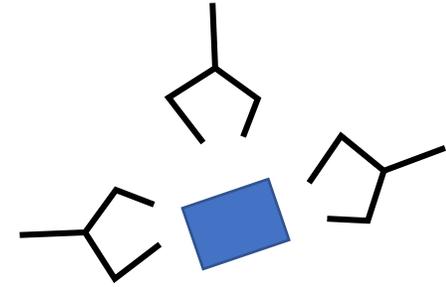


Минимальная
точность

Подвижность схвата



Коэффициент сервиса



Сервис является качественной характеристикой манипулятора. Для сравнительной оценки манипуляторов пользуются коэффициентами (от 0 до 1) линейного, углового, пространственного и объёмного сервиса, значения которых определяются соответственно из соотношений:

$$\begin{aligned} K_L &= \frac{L}{L_{\text{max}}} \\ K_S &= \frac{S}{S_{\text{max}}} \\ K_V &= \frac{V}{V_{\text{max}}} \end{aligned}$$

где L, S, V - величины линейного, углового, пространственного и объёмного сервиса;

L – величина линейного перемещения относительно начала базовой системы координат или полный линейный сервис;

S, V – площадь зоны и объём, описываемые схватом относительно начала базовой системы координат или полный плоскостной и объёмный сервисы.

Построение системы координат

Построение СК Денавита-Хартенберга для манипулятора с N степенями свободы ($N-1$ звеньев)

1. Построение абсолютной системы координат.

Построить правую ортогональную систему координат (СК) $O_0X_0Y_0Z_0$, направив Z_0 вдоль оси первого сочленения в направлении схвата.

2. Инициализация и цикл.

Для всех $i = 1, 2, \dots, N$ выполнить шаги 3-6.

3. Построение Z_i

Направить ось Z_i вдоль оси $(i+1)$ -го шарнира. При $i=N$ (т.е. для схвата) выберем ось Z_N в направлении оси Z_{N-1} .

4. Построение начала i -й системы координат.

Выбрать начало i -й СК в точке пересечения осей Z_{i-1} и Z_i или в точке пересечения оси Z_i и общей нормали к осям Z_{i-1} и Z_i (если оси Z_{i-1} и Z_i не пересекаются).

5. Построение оси X_i .

Направить ось X_i вдоль общей нормали к осям Z_{i-1} и Z_i (вдоль вектора $z_{i-1} \times z_i$, где z_{i-1} и z_i - орты соответствующей системы координат).

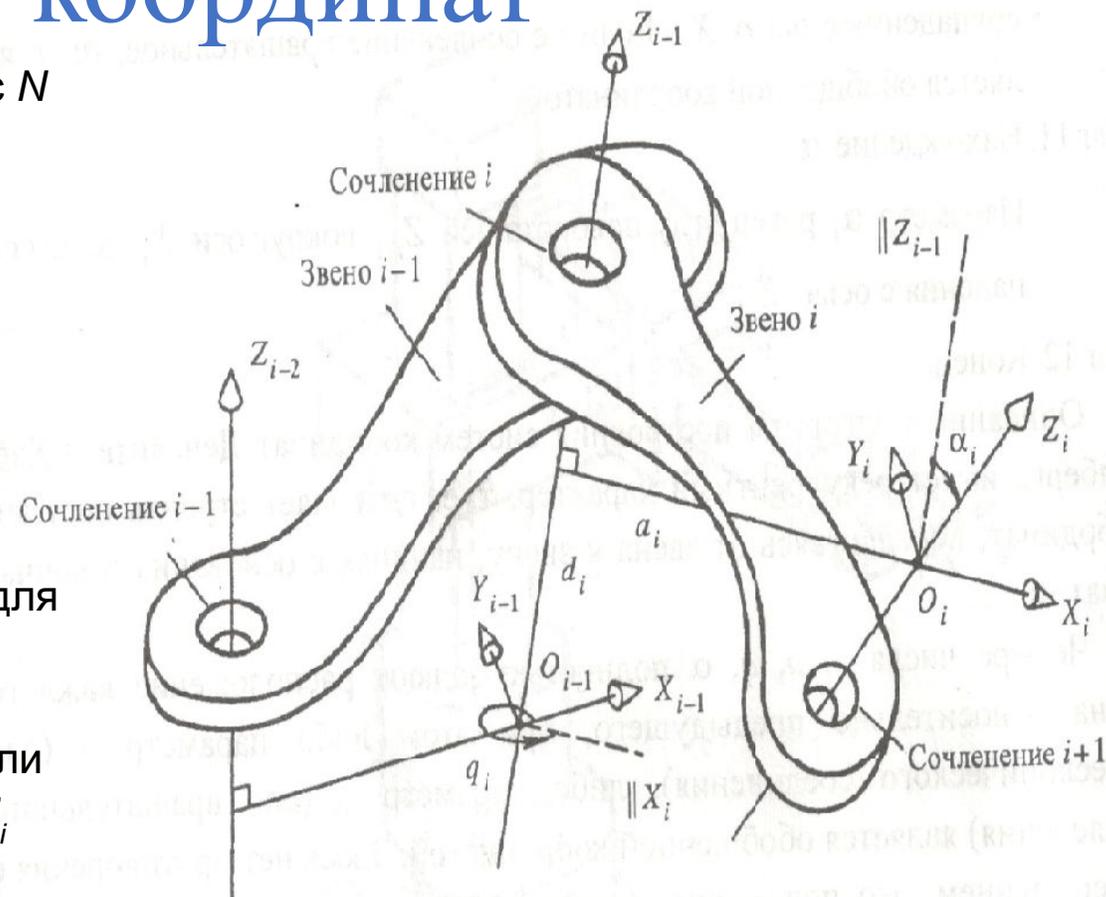


Рис. 1.19. Система координат Денавита - Хартенберга

Построение системы координат

6. Построение оси Y_i .

Направить ось Y_i так, чтобы полученная в результате СК $O_i X_i Y_i Z_i$ была правосторонней.

7. Нахождение параметров.

Для всех $i = 1, 2, \dots, N$ выполнить шаги 8-11.

8. Нахождение d_i .

Параметр d_i равен расстоянию от начала $(i-1)$ -й СК до точки пересечения осей Z_{i-1} и X_i , измеренному в направлении оси Z_{i-1} . Если i -е сочленение телескопическое, то d_i является обобщенной координатой.

9. Нахождение a_i .

Параметр a_i равен расстоянию от точки пересечения осей Z_{i-1} и X_i до начала i -й СК, измеренному в направлении оси X_i .

10. Нахождение q_i .

Параметр q_i равен углу поворота оси X_{i-1} вокруг оси Z_{i-1} до совпадения с осью X_i . Если i -е сочленение вращательное, то q_i является обобщенной координатой.

11. Нахождение α_i .

Параметр α_i равен углу поворота оси Z_{i-1} вокруг оси X_i до ее совпадения с осью Z_i .

12. Конец.

Системы координат манипуляторов

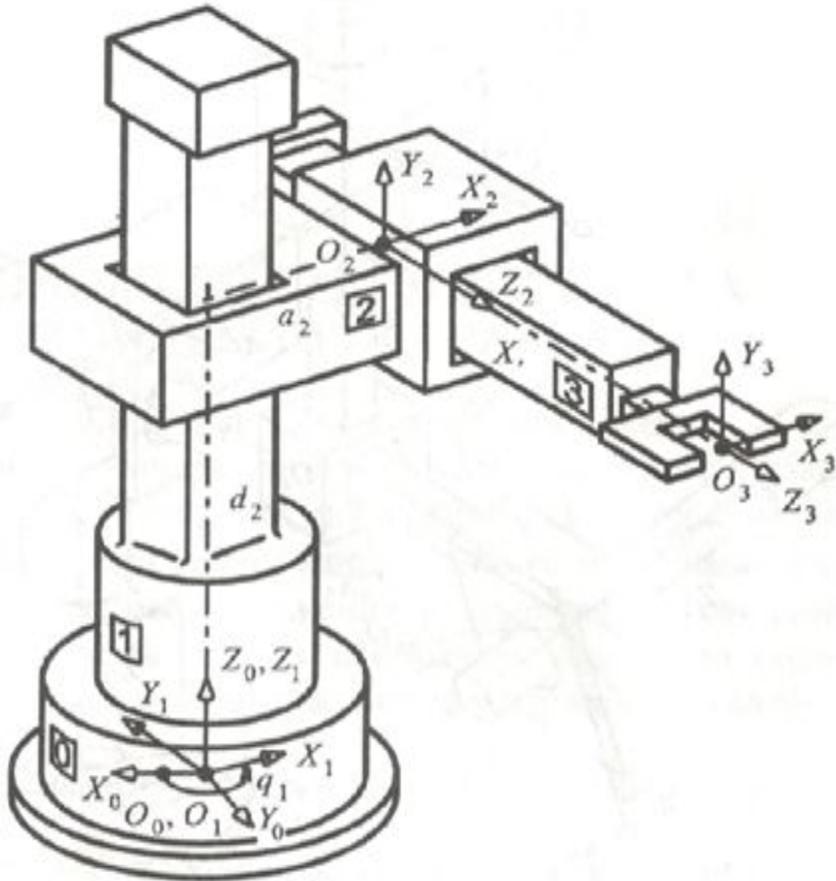


Рис. 1.20. Манипулятор М20П

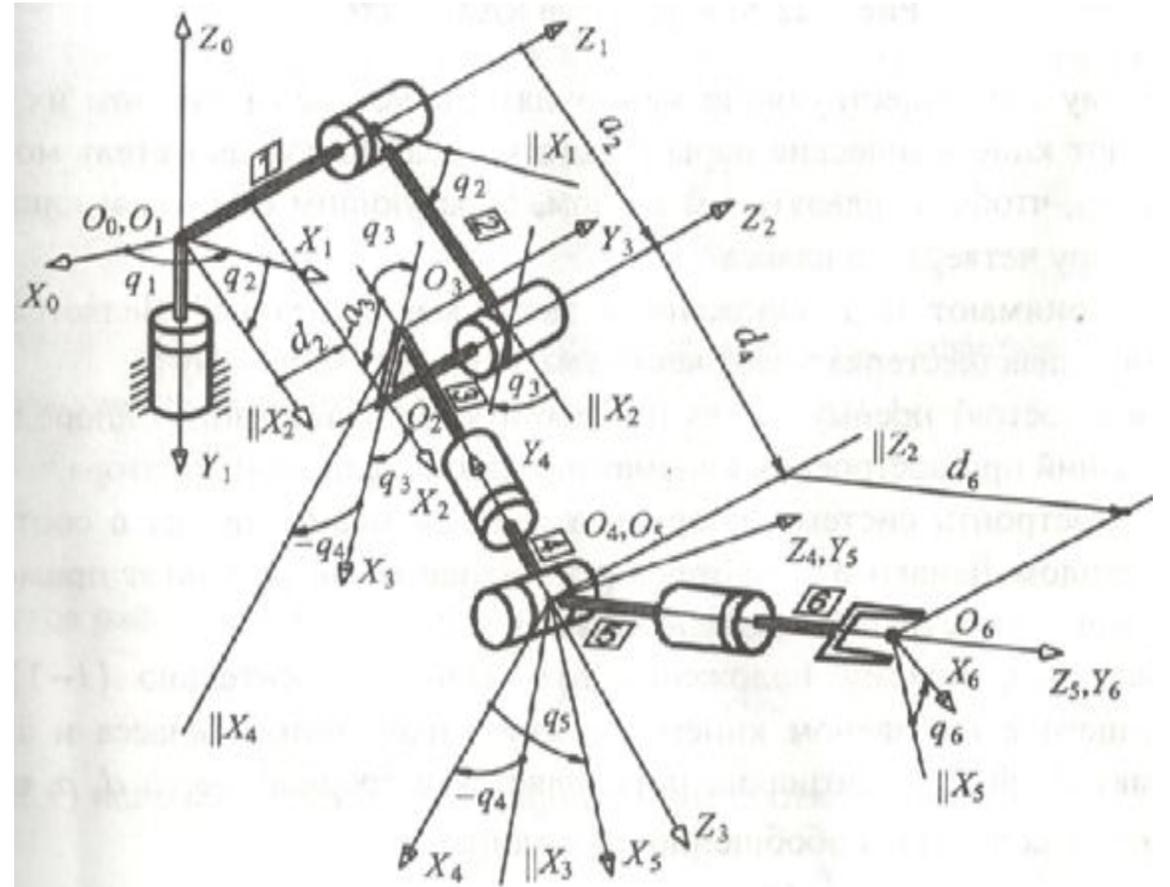


Рис. 1.22. Манипулятор PUMA-600

Управление манипуляторами

1. Однородные преобразования;
2. Прямая позиционная задача;
3. Обратная позиционная задача;
4. Выбор двигателя;
5. Захватные устройства.

Однородные координаты и преобразования

Лит-ра: Зенкевич С.Л., Ющенко А.С. Основы управления манипуляционными роботами: Учебник для вузов. – 2-е изд. исправ. и доп.. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2004. – 480 с.: ил. (Робототехника. Под ред. С.Л. Зенкевича, А.С. Ющенко).

Однородными преобразованиями точки с координатами (a, b, c) в системе координат $OXYZ$ называют четверку чисел (x, y, z, w) , такую что справедливы следующие соотношения

$$x = aw, y = bw, z = cw;$$

$$x^2 + y^2 + z^2 + w^2 = 0.$$

Однородные координаты определены неоднозначно. Если (a, b, c, d) – однородные координаты некоторой точки, то $(\lambda a, \lambda b, \lambda c, \lambda d)$ – однородные координаты той же точки ($\lambda \neq 0$).

Однородные координаты

Примеры

1. Найти однородные координаты точек

a. $(0, 0, 0)$. $(0, 0, 0, w)$, где $w \neq 0$ – произвольный параметр.

b. $(1, 1, 1)$. (w, w, w, w) , где $w \neq 0$.

c. $(5, 0, 0)$. $(5w, 0, 0, w)$, где $w \neq 0$.

2. Найти декартовы координаты точек

a. $(5, 6, 10, 2)$. $(5/2, 3, 5)$.

b. $(1, 1, 0, 3)$. $(1/3, 1/3, 0)$.

c. $(2w, 6w, 7w, w)$. $(2, 6, 7)$, при $w \neq 0$. Если $w = 0$, то т. не существует.

Однородные преобразования

- Однородными преобразованиями называют преобразования однородного вектора, осуществляющие его поворот, перенос, масштабирование, перспективное проектирование.

Пусть ρ – однородный вектор, в частности, однородные координаты. Однородное векторное преобразование имеет вид

$$\rho' = T\rho,$$

где T – матрица однородного преобразования 4x4 (или однородная матрица):

$$T = \begin{pmatrix} R & p \\ f^T & m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} & p_1 \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} & p_2 \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} & p_3 \\ f_1 & f_2 & f_3 & m \end{pmatrix}.$$

R – матрица поворота 3x3, p – вектор переноса; f – вектор, связанный с вектором центрального проектирования; m – коэффициент масштабирования.

Однородные преобразования

Примеры

1. Сдвиг

$$\rho' = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & p_1 \\ 0 & 1 & 0 & p_2 \\ 0 & 0 & 1 & p_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a + p_1 \\ b + p_2 \\ c + p_3 \\ 1 \end{pmatrix}$$

2. Поворот

$$\rho' = \begin{pmatrix} & & & 0 \\ R & & & 0 \\ & & & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_{11}a + r_{12}b + r_{13}c \\ r_{21}a + r_{22}b + r_{23}c \\ r_{31}a + r_{32}b + r_{33}c \\ 1 \end{pmatrix}$$

3. Масштабирование

$$\rho' = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \\ m \end{pmatrix}$$

Однородные преобразования

- Взаимное положение системы координат ${}_{0_1}UVW$ и абсолютной системы координат ${}_{0_0}X_0Y_0Z_0$ можно задать матрицей однородных преобразований

$$T = \begin{pmatrix} R & p \\ 000 & 1 \end{pmatrix},$$

где p - вектор 3×1 , задающий начало системы координат ${}_{0_1}UVW$, а R - матрица 3×3 , задающая ориентацию ${}_{0_1}UVW$ относительно ${}_{0_0}X_0Y_0Z_0$.

Построение системы координат Денавита – Хартенберга позволяет использовать числа d, a, q, α для определения расположения каждого звена относительно предыдущего. Параметры d – перемещение (для телескопического соединения) и q – угол поворота (для вращательного сочленения) являются обобщенными координатами, параметры a, α – определяют взаимное положения систем координат.

Прямая позиционная задача

- Прямая позиционная задача формулируется так: по заданному вектору обобщенных координат манипулятора $\mathbf{q} = (q_1, q_2, \dots, q_N)^T$ найти положение и ориентацию его схвата $s = f(\mathbf{q})$.

Для оценки положения и ориентации используется матрица однородных преобразований

$$T = \begin{pmatrix} R & p \\ 000 & 1 \end{pmatrix}.$$

Пусть $A_i, i=1, 2, \dots, N$ – однородные матрицы, задающие переход от системы координат i -го звена к системе координат $(i-1)$ -го звена. Тогда, матрица

$$T_N = A_1 A_2 \dots A_N$$

является решением поставленной задачи.

Вводя матрицу

$$T_i = A_1 A_2 \dots A_i,$$

получим

$$\begin{aligned} T_i &= T_{i-1} A_i, \quad i=1, 2, \dots, N, \\ T_0 &= E. \end{aligned}$$

Преобразования координат

Вид матриц A_i зависит от способа выбора систем координат.

При использовании представления Денавита – Хартенберга выполняется следующая последовательность операций:

1. Поворот вокруг оси Z_{i-1} на угол q_i (оси X_{i-1} и X_i параллельны).
2. Сдвиг вдоль оси Z_{i-1} на d_i (оси X_{i-1} и X_i совпадают).
3. Сдвиг вдоль оси X_{i-1} на a_i (начала координат O_{i-1} и O_i совпадают).
4. Поворот вокруг оси X_{i-1} на угол α_i (системы координат $O_i X_i Y_i Z_i$ и $O_{i-1} X_{i-1} Y_{i-1} Z_{i-1}$ совпадают).

Преобразования координат

Каждая операция может быть представлена однородной матрицей

Поворот вокруг Z_i на q_i

$$Rot(z_i q_i) = \begin{pmatrix} R_{z_i q_i} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

Сдвиг вдоль Z_i на d_i

$$Trans(z_i d_i) = \begin{pmatrix} E & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

$$Trans(x_i a_i) = \begin{pmatrix} E & a_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

Сдвиг вдоль X_i на a_i

$$Rot(x_i \alpha_i) = \begin{pmatrix} R_{x_i \alpha_i} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Поворот вокруг X_i на α_i

Тогда имеем

$$A_i = Rot(z_i q_i) Trans(z_i d_i) Trans(x_i a_i) Rot(x_i \alpha_i).$$

Прямая позиционная задача

Обозначим

$$c_i = \cos q_i, \quad s_i = \sin q_i, \quad c_{ij} = \cos (q_i + q_j), \quad s_{ij} = \sin (q_i + q_j).$$

Перемножая матрицы, получим

$$A_i(d_i, a_i, q_i, \alpha_i) = \begin{pmatrix} c_i & -c_{\alpha_i} s_i & s_{\alpha_i} s_i & a_i c_i \\ s_i & c_{\alpha_i} c_i & -s_{\alpha_i} c_i & a_i s_i \\ 0 & s_{\alpha_i} & c_{\alpha_i} & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Матрица, обратная к матрице A_i (матрица перехода от $(i-1)$ -й к i -й системе координат), имеет вид

$$A_i^{-1}(d_i, a_i, q_i, \alpha_i) = \begin{pmatrix} c_i & s_i & 0 & -a_i \\ -c_{\alpha_i} s_i & c_{\alpha_i} c_i & s_{\alpha_i} & -d_i s_{\alpha_i} \\ s_{\alpha_i} s_i & -s_{\alpha_i} c_i & c_{\alpha_i} & -d_i c_{\alpha_i} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Решение прямой задачи для двухзвенного плоского манипулятора

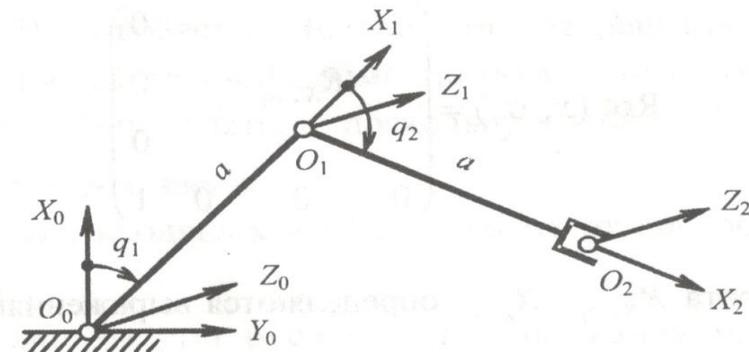
Матрицы перехода имеют вид

$$A_i = \begin{pmatrix} c_i & q_i & 0 & a_i c_i \\ s_i & c_i & 0 & a_i s_i \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, i=1, 2.$$

Матрицы T_i , определяющие положение звеньев в абсолютной системе координат

$$T_1 = A_1,$$

$$T_2 = A_1 A_2 = \begin{pmatrix} c_i & -s_{12} & 0 & a_1 c_1 + a_2 c_{12} \\ s_{12} & c_{12} & 0 & a_1 s_1 + a_2 s_{12} \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$



Координаты центра схвата O_2

$$x = a_1 c_1 + a_2 c_{12}, y = a_1 s_1 + a_2 s_{12}. \quad C$$

Ориентация осей x_2, y_2

$$\begin{aligned} x_{2x} &= c_{12} & x_{2y} &= s_{12} \\ y_{2x} &= -s_{12} & y_{2y} &= c_{12} \end{aligned}$$

Обратная позиционная задача

При заданном положении ориентации схвата $\mathbf{s} = \mathbf{s}^*$ или $\mathbf{T}_N = \mathbf{T}_N^*$ найти обобщенные координаты $\mathbf{q} = (q_1^*, q_2^*, \dots, q_N^*)$.

Если обозначить

$$\mathbf{s} = \mathbf{f}_s(\mathbf{q})$$

или

$$\mathbf{T}_N = \mathbf{f}_T(\mathbf{q}),$$

то искомые углы будут задаваться соотношением

$$\mathbf{q}^* = \mathbf{f}_s^{-1}(\mathbf{s}^*)$$

или

$$\mathbf{q}^* = \mathbf{f}_T^{-1}(\mathbf{T}_N^*).$$

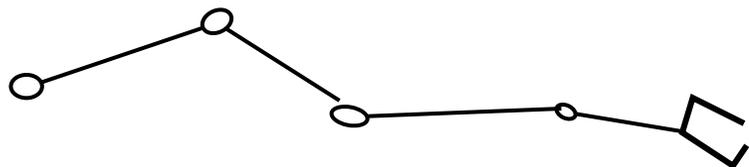
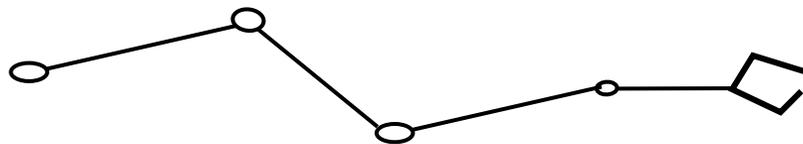
Решение сводится к решению нелинейной тригонометрической системы шести уравнений с N неизвестными.

Решение сводится к решению нелинейной тригонометрической системы шести уравнений с N неизвестными. Не существует общего метода решения этой системы в явном виде.

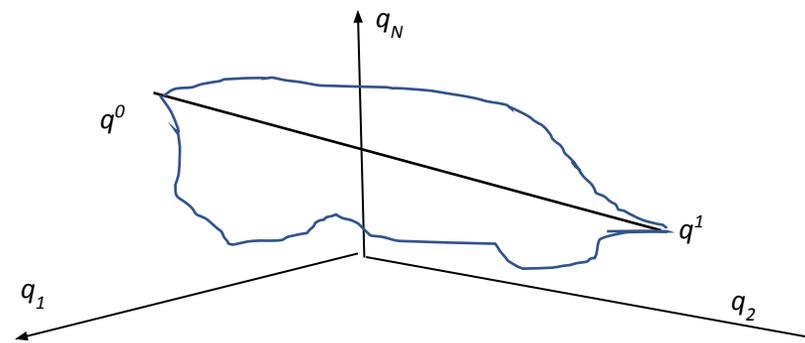
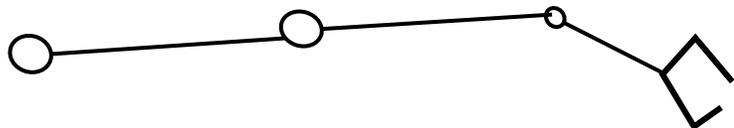
Системы могут:

- не иметь ни одного решения;
- иметь единственное решение;
- иметь более одного решения (несколько или бесконечно много).

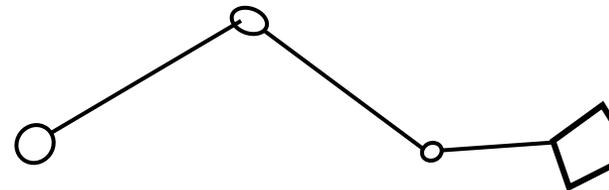
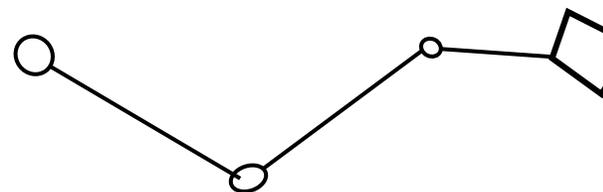
Множество вариантов управления



Один вариант управления



Два варианта управления



Обратная позиционная задача

Существуют различные методы решения обратной задачи, в частности:

1. Метод обратных преобразований;
2. Итерационный метод;
3. Тригонометрический подход;
4. Нейросетевой подход:
 - формирование вариантов решения прямой задачи по всему рабочему пространству (с заданной дискретностью),
 - выбор оптимальных вариантов (по выбранным критериям),
 - нейросетевая аппроксимация $\mathbf{q} = (q_1^*, q_2^*, \dots, q_N^*)$.

Обратная позиционная задача

Метод обратных преобразований

Матрица, определяющая положение и ориентацию схвата имеет вид

$$T_N = A_1 A_2 \dots A_{N-1} A_N,$$

где $A_i = A_i(q_i)$ – матрица перехода от i -й к $(i-1)$ -й системе координат манипулятора.

Тогда, умножая на A_1^{-1} (матрицы A_i невырожденные), имеем

$$A_1^{-1}(q_1) T_N = A_2 \dots A_{N-1} A_N.$$

Т.к. матрица T_N известна, то получено решение относительно q_1 .

Если удастся найти q_1 , то процесс повторяется для q_1, q_2, \dots, q_N .

Обратная позиционная задача

Численные методы решения обратной задачи. Метод Ньютона

Рассматривается задача поиска корня уравнения

$$f(q) = s^*,$$

где s^* - заданное положение схвата.

Если для решения некоторого скалярного уравнения

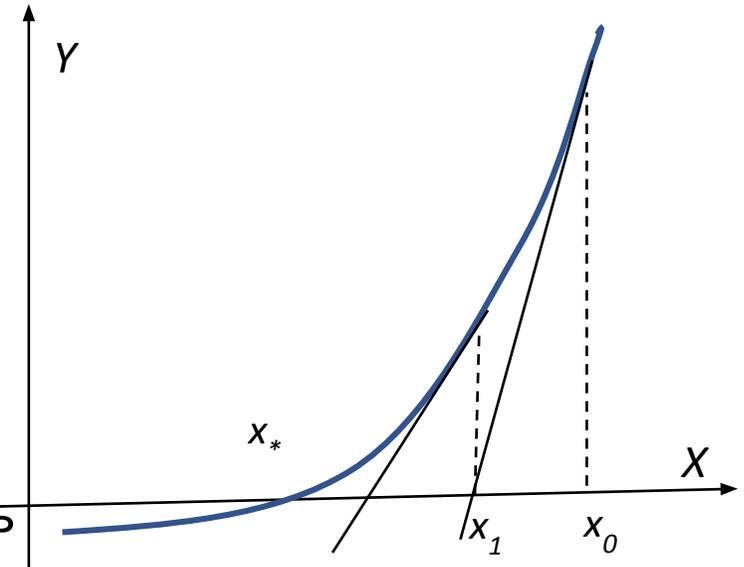
$$\varphi(x) = 0$$

выбрать некоторое начальное приближение x_0 и построить

следующее приближение x_1 как точку пересечения касательной

к графику функции $\varphi(x) = 0$ в точке x_0 с осью X , то полученное

значение x_1 будет «ближе» к корню x^* , чем x_0 .



Выбор мощности приводов

для обеспечения требуемых движений манипулятора

- В простейших случаях задачу управления манипулятором можно представить следующим образом: найти функцию

$$q = q(t), t \in [t_0, t_1]$$

с краевыми условиями $q(t_0) = q^0$, $q(t_1) = q^1$, которая обеспечивает перевод манипулятора из точки q^0 (в момент времени t_0) в точку q^1 (к моменту времени t_1).

Очевидно, что существует бесконечное количество вариантов перевода манипулятора из точки q^0 в точку q^1 .

Выбор мощности приводов

для обеспечения требуемых движений манипулятора

При выборе траектории необходимо, чтобы компоненты скорости v_i не превышали (по модулю) максимальные скорости v_i^{max} , которые могут развить приводы подвижных сочленений манипулятора

$$|v_i| \leq v_i^{max}.$$

Если это условие не выполняется, то необходимо увеличивать время управления ($t_1 - t_0$), что не всегда возможно по условиям выполнения поставленной задачи.

Кроме того, необходимо учитывать возможное влияние величины нагрузки, в частности, массы объекта манипулирования, на развиваемую скорость привода под нагрузкой.

В случае, если манипулятор не может реализовать заданные движения (из-за повышенных требованиям к нагрузке, скоростям или ускорениям), то необходимо увеличивать мощность используемых приводов.

Таким образом, определение требуемой мощности привода является важной задачей проектирования манипуляторов, определяющей физическую реализуемость поставленных задач.

Выбор мощности приводов для обеспечения требуемых движений манипулятора

- Если известна траектория движения манипулятора, т.е. заданы перемещения $s_i(t)$, скорости $v_i(t)$ и ускорения $a_i(t)$ всех i -х звеньев, то для каждого звена можно определить функцию изменения силы $F_i(t)$, обеспечивающей требуемое перемещение

$$F_i(t) = m_i a_i(t) + c_d v_i(t) + c_a s(t) \quad (1)$$

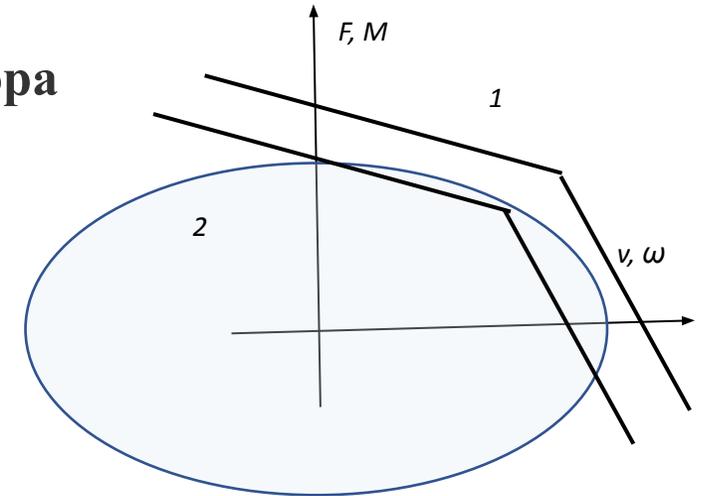
где m_i – масса i – го звена с нагрузкой, c_d, c_a – коэффициенты.

Формула позволяет построить эллипсоид нагрузки или, в простейшем случае, эллипс в координатах сила-скорость ($F - v$) или момент-угловая скорость ($M - \omega$) (рис.2).

Выбор мощности приводов

для обеспечения требуемых движений манипулятора

На рис. представлен эллипс нагрузки, полученный при необходимости выполнять рассматриваемым звеном манипулятора заданные гармонические колебания. Необходимо отметить, что в силу необходимости смены направления движений и гармонических изменений ускорений и скоростей, данный режим является одним из наиболее сложных для реализации.



Линии 1, 2 на рисунке соответствуют механическим характеристикам двух различных электродвигателей.

Характеристика 1 покрывает область эллипса, не пересекая его границ. Следовательно, привод, реализованный на электродвигателе 1, обеспечивает требования по мощности для данного режима работы.

Характеристика 2 пересекает границы эллипса нагрузки, что показывает нереализуемость заданных моментов и сил.

В реальных условиях превышение механической характеристики двигателя должно учитывать КПД двигателя и редуктора.

Выбор мощности приводов

для обеспечения требуемых движений манипулятора

Методика выбора двигателя включает:

1. Определение требуемых компонент движения звеньев манипулятора;
2. Определение параметров нагрузки (масс или моментов инерции) для каждого звена;
3. Построение эллипса нагрузки путем вычисления формулы (1) с подстановкой траектории вида $s(t) = A\sin(\omega t)$, расчет зависимостей $v(t)$ и $a(t)$, где A, ω – задаваемые параметры;
4. Выбор двигателя, механическая характеристика которого проходит выше и правее границ эллипса нагрузки (рис.).

Захватные устройства

Захватные устройства (ЗУ) промышленных роботов (ПР) и манипуляторов (М) служат для захватывания и удержания в определенном положении объектов манипулирования.

ПР и М комплектуют набором типовых (для данной модели) ЗУ, которые можно менять в зависимости от требований конкретного рабочего задания.

При необходимости ПР оснащают специальными ЗУ, предназначенными для выполнения определенных операций.

К числу обязательных требований относятся **надежность захватывания и удержания объекта, стабильность базирования, недопустимость повреждений или разрушения объектов.** При обслуживании одним ПР нескольких единиц оборудования применение широкодиапазонных ЗУ или их автоматическая смена может оказаться единственно возможным решением, если одновременно обрабатываются детали различной конфигурации и массы. Поэтому к ЗУ для ПР, работающих в условиях серийного производства, предъявляются дополнительные требования: широкодиапазонность (возможность захватывания и базирования деталей в широком диапазоне массы, размеров и формы), обеспечение захватывания близко расположенных деталей, легкость и быстрота замены (вплоть до автоматической смены ЗУ).

В ряде случаев необходимо автоматическое изменение усилия удержания объекта в зависимости от массы детали.

Классификация захватных устройств (ЗУ)

Различают ЗУ по принципу действия

- *Схватывающие ЗУ* удерживают объект благодаря кинематическому воздействию рабочих элементов (губок, пальцев, клещей и т. п.) с помощью сил трения или комбинации сил трения и запирающих усилий. Все схватывающие ЗУ активного типа подразделяются на две группы: механические (клещи, тиски, шарнирные пальцы) и с эластичными рабочими камерами, деформирующимися под действием нагнетаемого внутрь воздуха или жидкости.
- В *поддерживающих ЗУ* для удержания объекта используют нижнюю поверхность, выступающие части объекта или имеющиеся в его корпусе отверстия. К этим ЗУ относят крюки, петли, вилки, лопатки и захваты питателей, не зажимающие заготовок.
- *Удерживающие ЗУ* обеспечивают силовое воздействие на объект благодаря использованию различных физических эффектов. Наиболее распространены вакуумные и магнитные ЗУ. Встречаются ЗУ, использующие эффект электростатического притяжения, адгезии, ЗУ с липкими накладками и т. п.

По характеру базирования захватные устройства делят на пять групп.

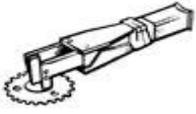
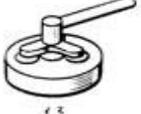
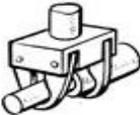
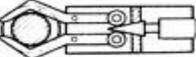
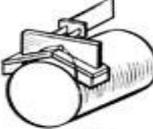
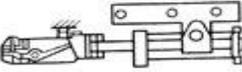
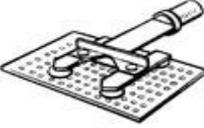
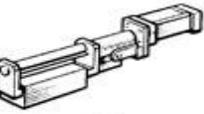
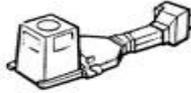
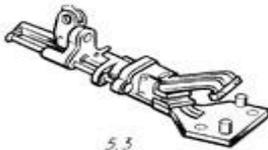
- *Способные к перебазированию объекта ЗУ* изменяют положение удерживаемой детали благодаря управляемым действиям рабочих элементов. Этим свойством обладают антропоморфные ЗУ с управляемыми шарнирными пальцами.
- *Центрирующие ЗУ* определяют положения оси или плоскости симметрии захватываемого объекта. К ним прежде всего относят механические ЗУ, оснащенные кинематически связанными рабочими элементами, имеющие губки в виде призм и др. Иногда это могут быть ЗУ с эластичными камерами.
- *Базирующие ЗУ* определяют положение базовой поверхности (или поверхностей). Такой принцип базирования характерен для поддерживающих ЗУ. Однако он часто применяется и в схватывающих ЗУ.
- *Фиксирующие ЗУ* сохраняют положение объекта, которое тот имел в момент захватывания.

По характеру крепления к руке ПР все ЗУ можно разделить на четыре группы.

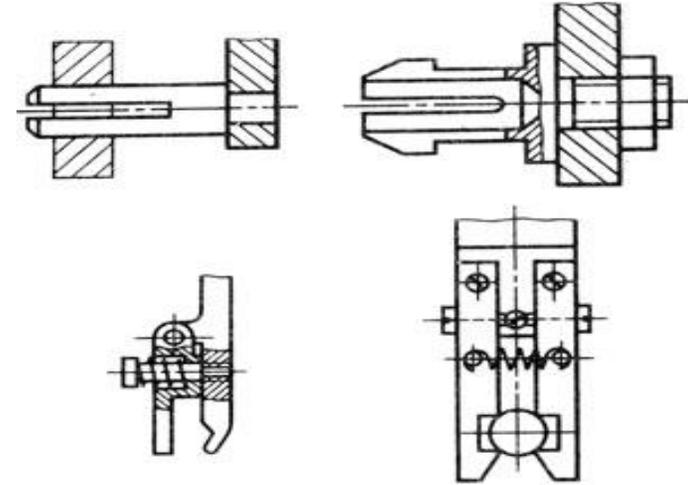
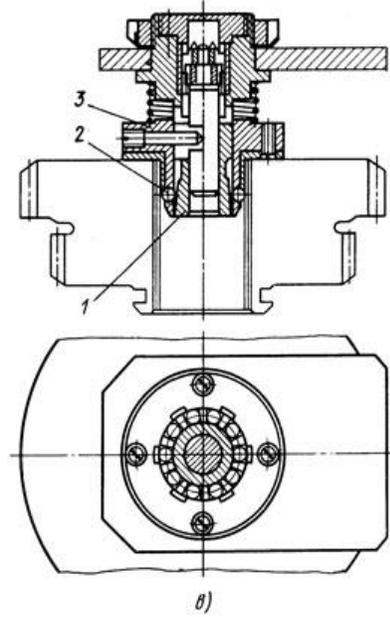
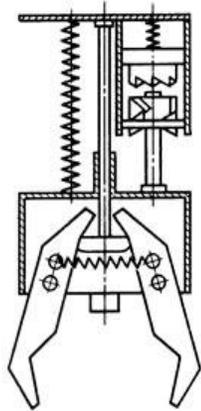
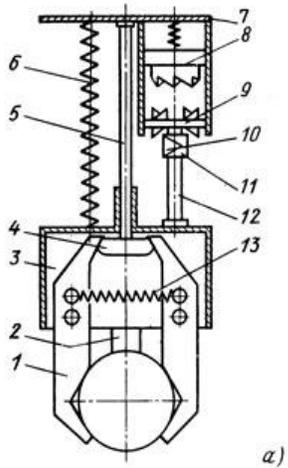
- *Несменяемые ЗУ* - устройства, являющиеся неотъемлемой частью конструкции робота, замена которых не предусматривается.
- *Сменные ЗУ* - устройства, представляющие собой самостоятельные узлы с базовыми поверхностями для крепления к роботу. При этом их крепление не предусматривает быстрой замены (например, установка на фланце с помощью нескольких винтов).
- *Быстросменные ЗУ* - сменные ЗУ, у которых конструкция базовых поверхностей для крепления ЗУ к роботу обеспечивает их быструю смену (например, исполнение в виде байонет-ного замка).
- *Пригодные для автоматической смены ЗУ* - устройства, у которых конструкция базовых поверхностей обеспечивает возможность их автоматического закрепления на руке робота.

По виду управления ЗУ подразделяют на четыре группы

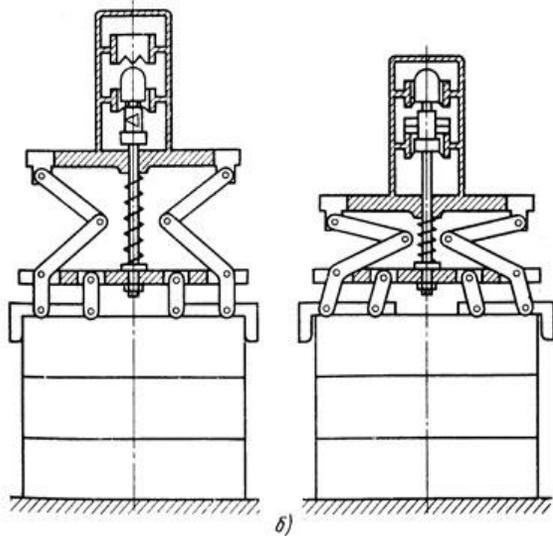
- *Неуправляемые ЗУ* - пружинные механические устройства с постоянными магнитами или с вакуумными присосками без принудительного разрежения. Для снятия объекта с таких ЗУ требуется усилие большее, чем усилие его удержания.
- *Командные ЗУ* управляются только командами на захватывание или отпускание объекта. К этой группе относят ЗУ с пружинным приводом, оснащаемые стопорными устройствами и срабатывающие через такт. Разжимаются и зажимаются губки пружинных ЗУ благодаря взаимодействию их с объектом манипулирования или элементами внешнего оборудования (аналогично механизмам, используемым в некоторых конструкциях шариковых авторучек).
- *Жесткопрограммируемые ЗУ* управляются СУ ПР. Величина перемещения губок, взаимное расположение рабочих элементов, усилие зажима в таких ЗУ могут меняться в зависимости от заданной программы, которая может управлять и действием вспомогательных технологических приспособлений.
- *Адаптивные ЗУ* - программируемые устройства, оснащенные различными датчиками внешней информации (определения формы поверхности и массы объекта, усилия зажима, наличия проскальзывания объекта относительно рабочих элементов ЗУ и т. п.).

Детали	Механические устройства			Вакуумные и магнитные устройства		Устройства с эластичными камерами	
	центрирующие		базирующие	центрирующие	базирующие		
	широкодиапазонные	узкодиапазонные					
Тела вращения: фланцы		 1.1	 1.2	 1.3	—	 1.5	 1.6
валы		 2.1	 2.2	—	 2.4	—	 2.6
Плоские детали		—	 3.2	 3.3	—	 3.5	—
Детали коробчатой формы		 4.1	 4.2	 4.3	 4.4	 4.5	—
Детали сложной формы		—	—	 5.3	 5.4	 5.5	 5.6

Неприводные ЗУ

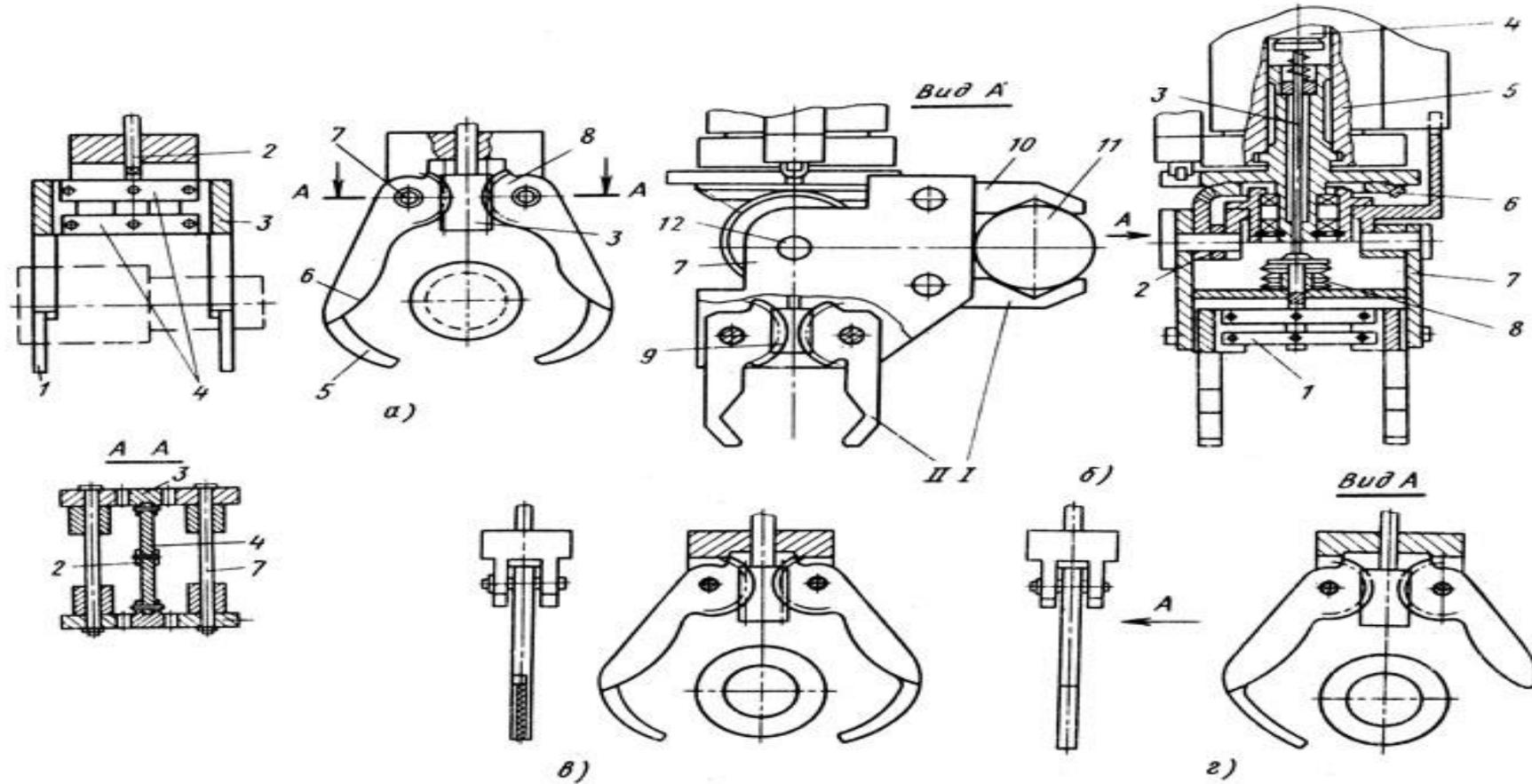


Неуправляемые ЗУ

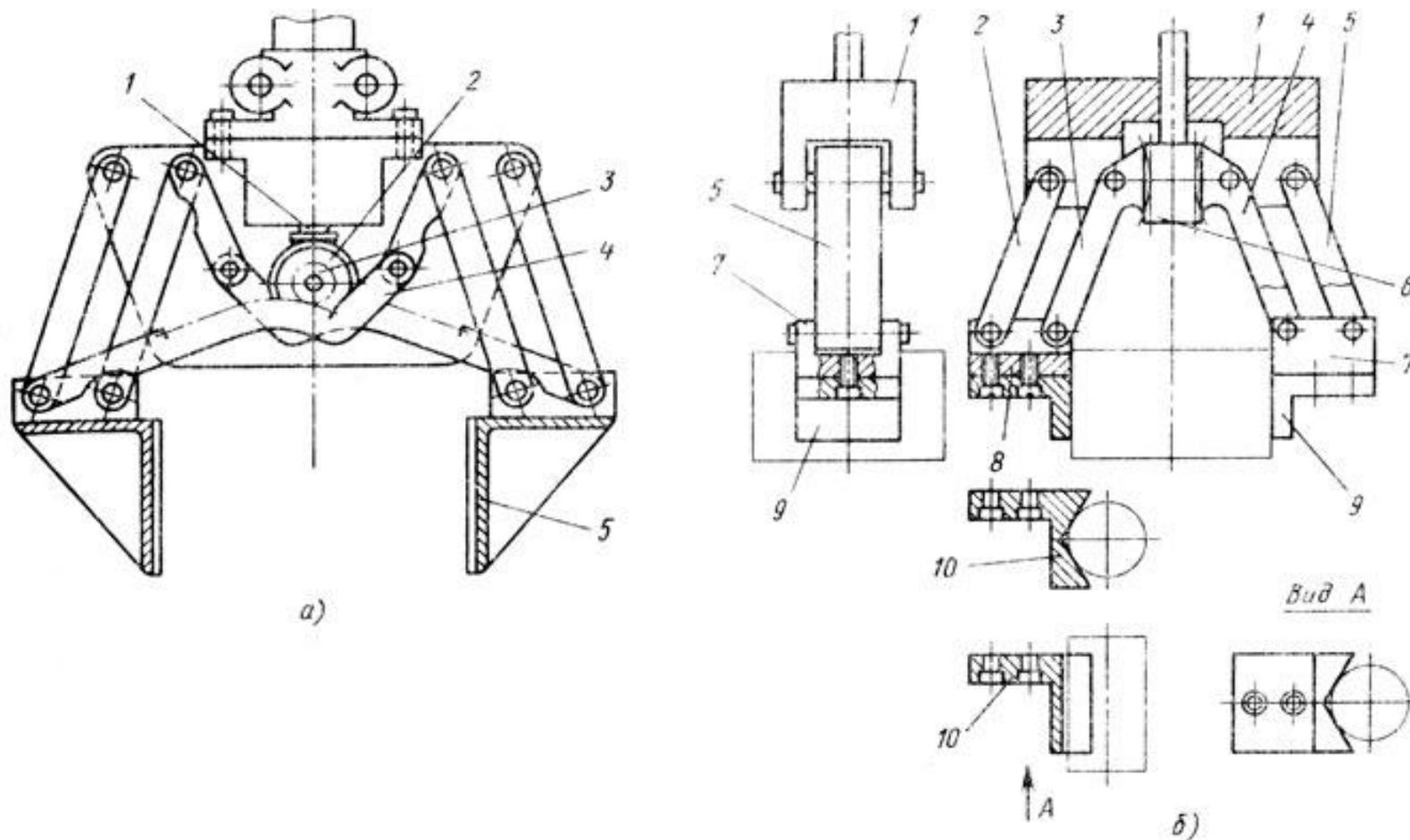


Неприводные ЗУ со стопорными механизмами, обеспечивающими чередование циклов зажима и разжима деталей, являются автономными, не требуют специальных команд от системы управления и дополнительного подвода энергии.

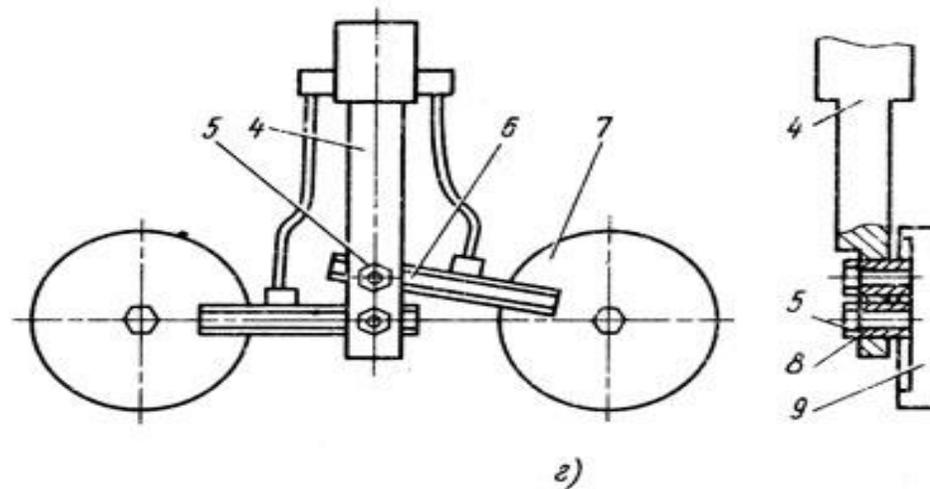
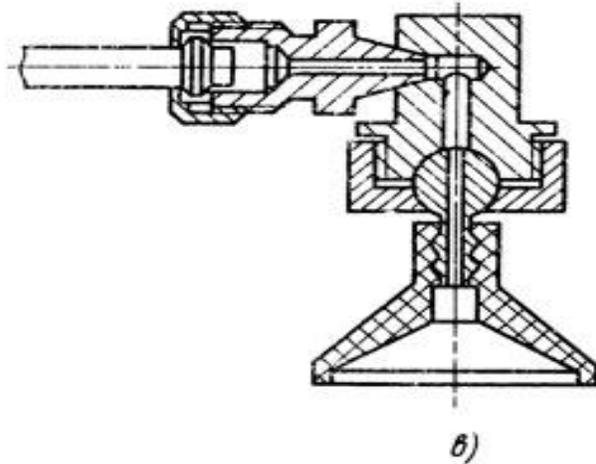
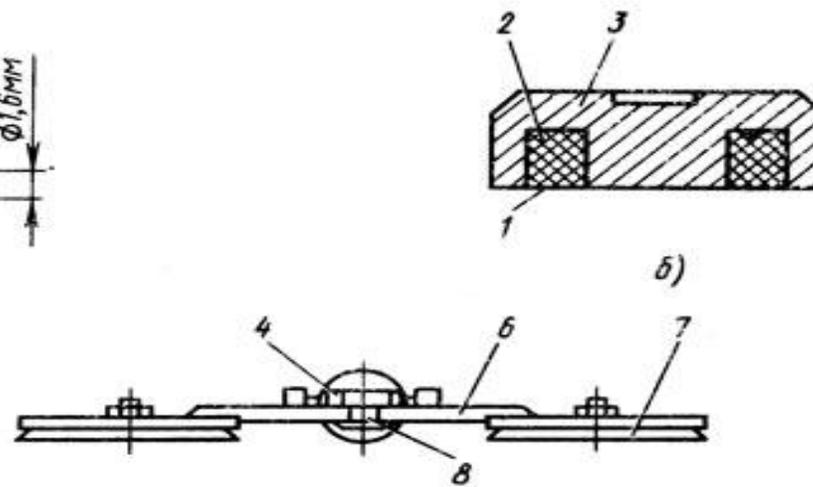
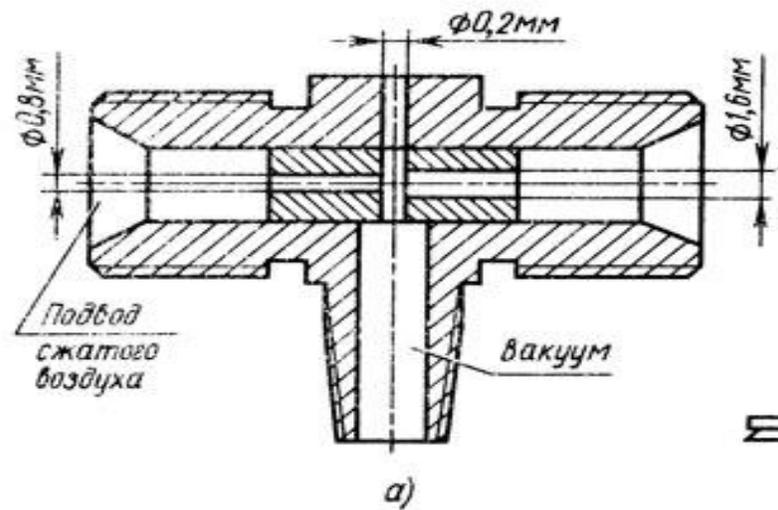
Широкодиапазонные центрирующие ЗУ с речными передаточными механизмами для деталей типа тел вращения



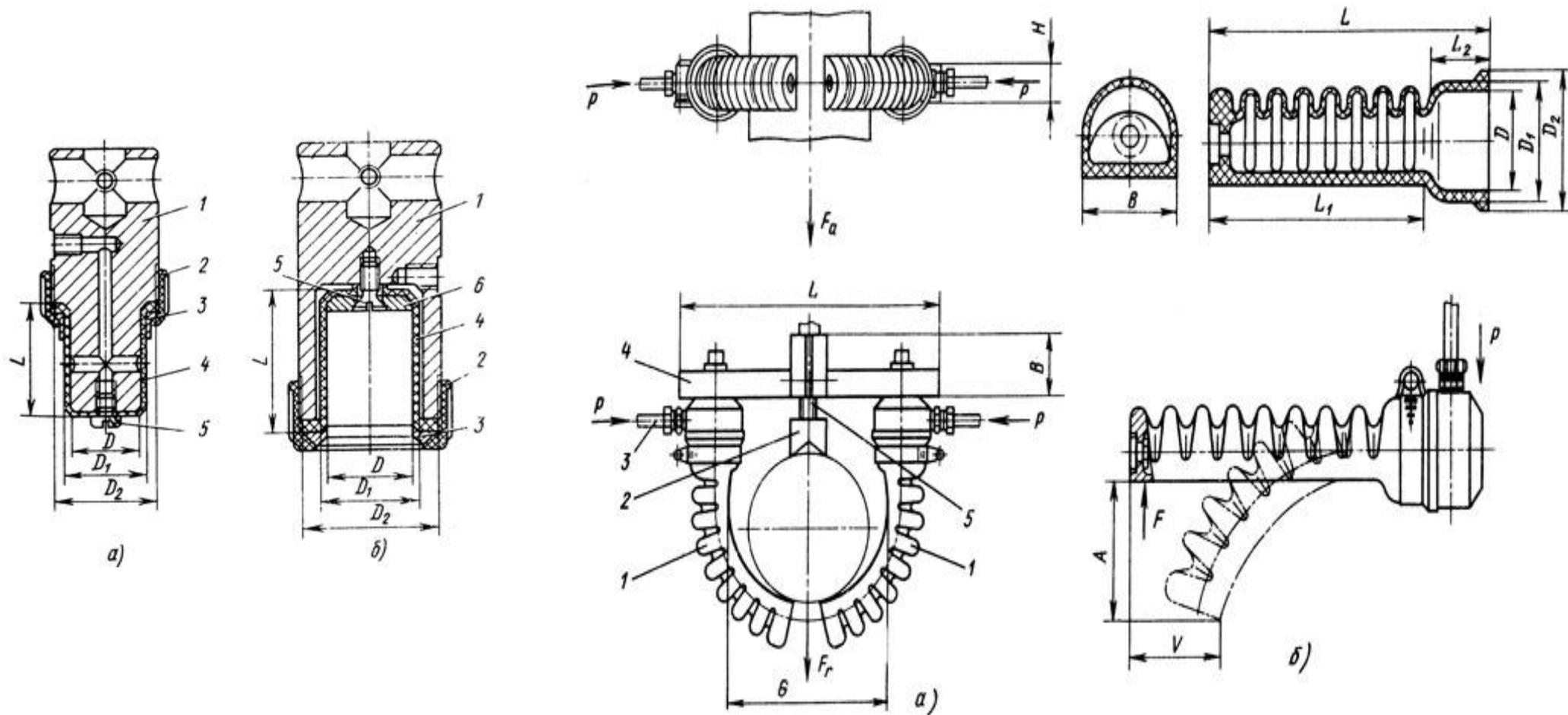
Центрирующие широкодиапазонные механические ЗУ с параллельным перемещением губок, осуществляемым комбинацией реечных и рычажных передач



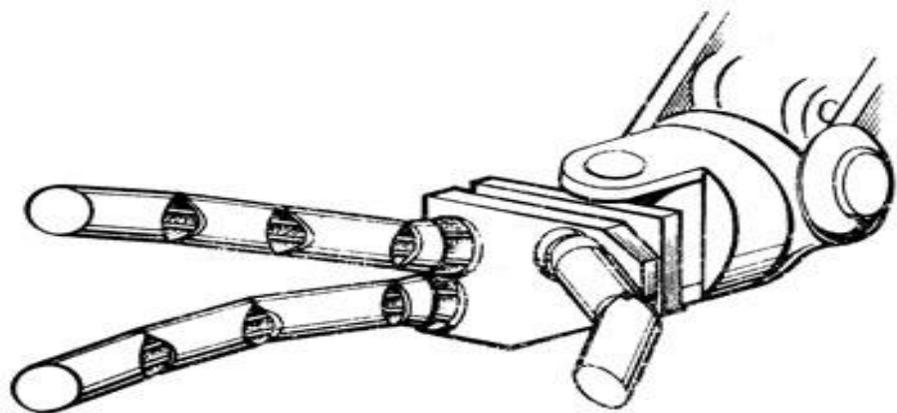
Элементы вакуумных и электромагнитных ЗУ



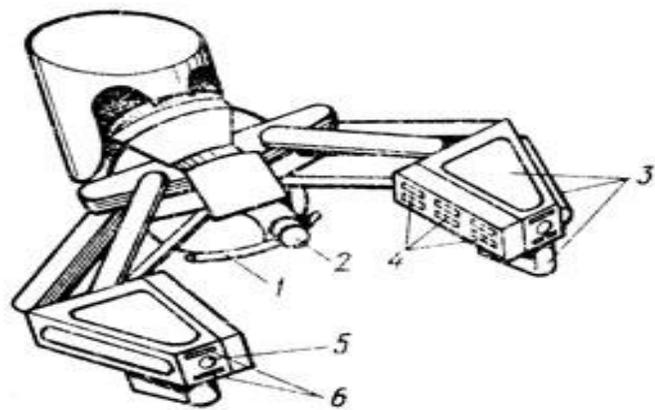
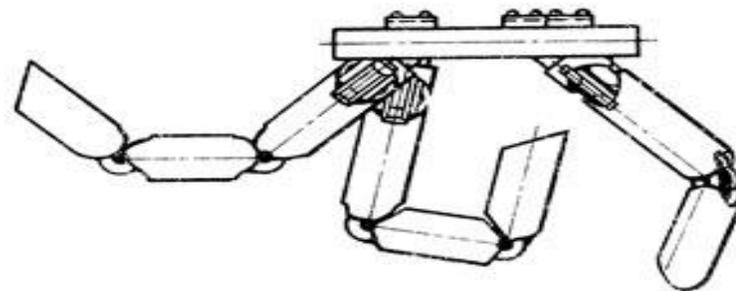
ЗУ с эластичными камерами



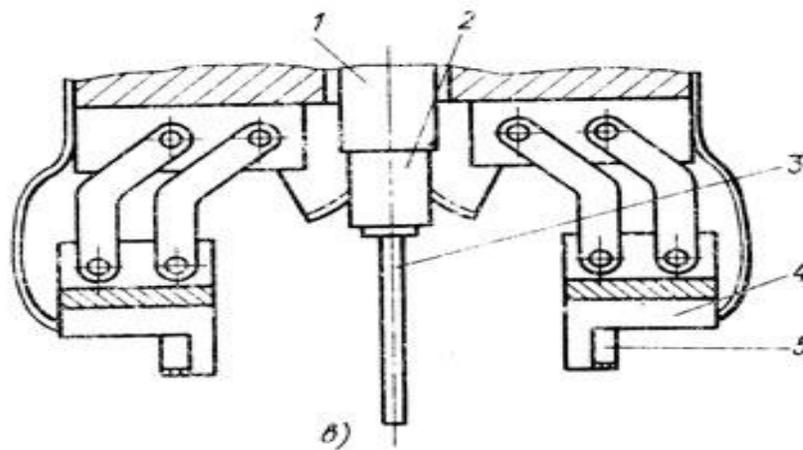
Адаптивные ЗУ



а)



б)



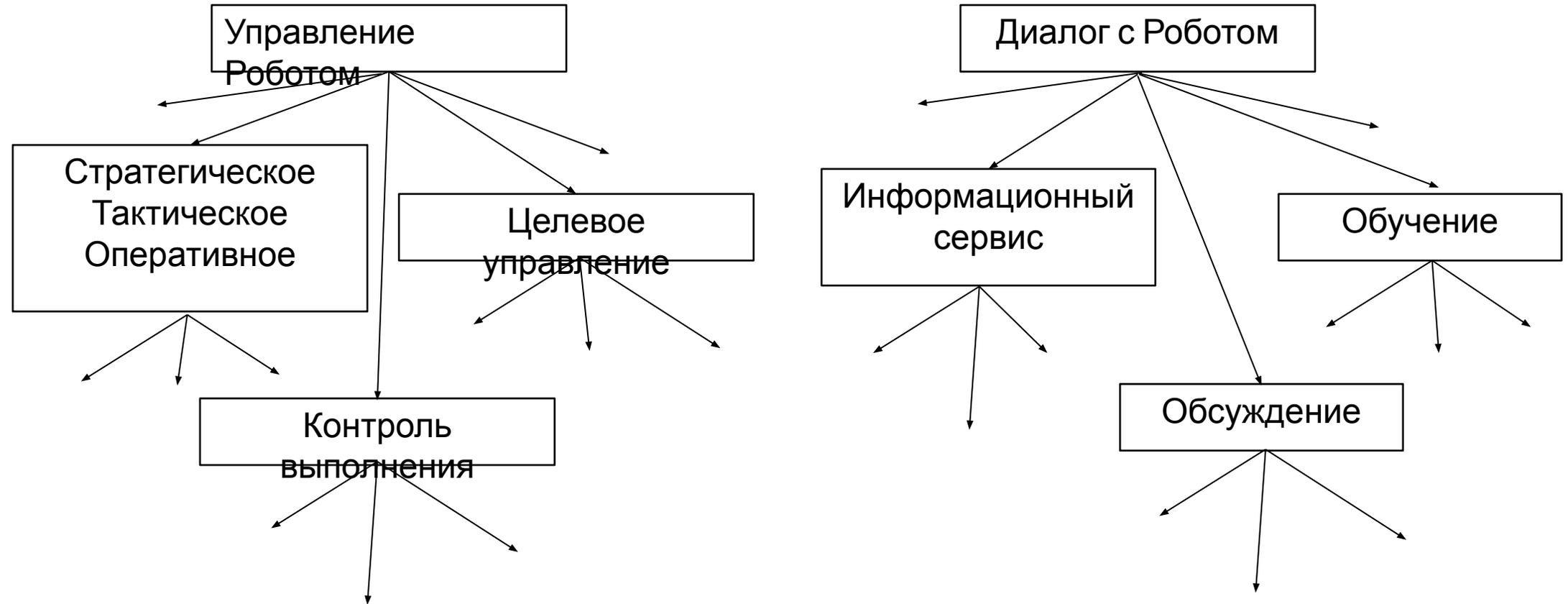
в)

15. Человек - робот

Задачи

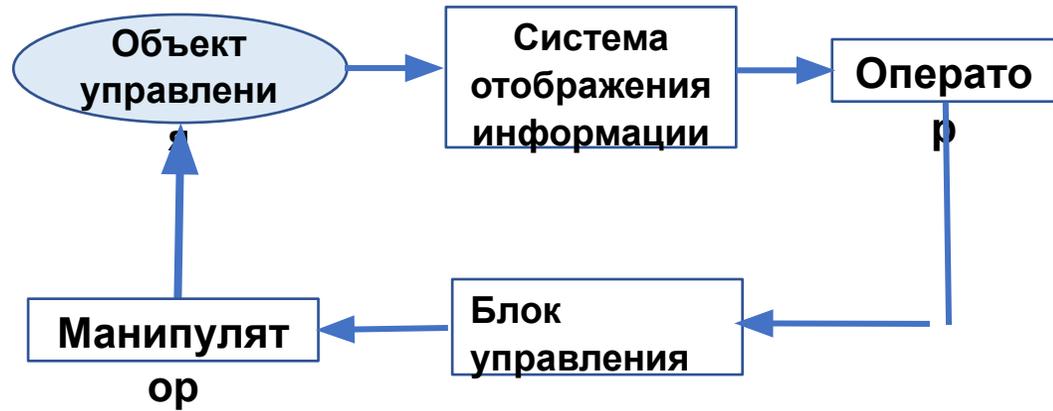
1. Выполнение роботом тяжелых, рутинных операций;
2. Помощь при выполнении сложных операций (удаленное рабочее место, дополнительная рука и пр.);
3. Помощь человеку в области социальных, медицинских, информационных услуг;
4. Психологическая помощь;
5. Работа в опасных условиях;
6.

Виды взаимодействия Ч - Р

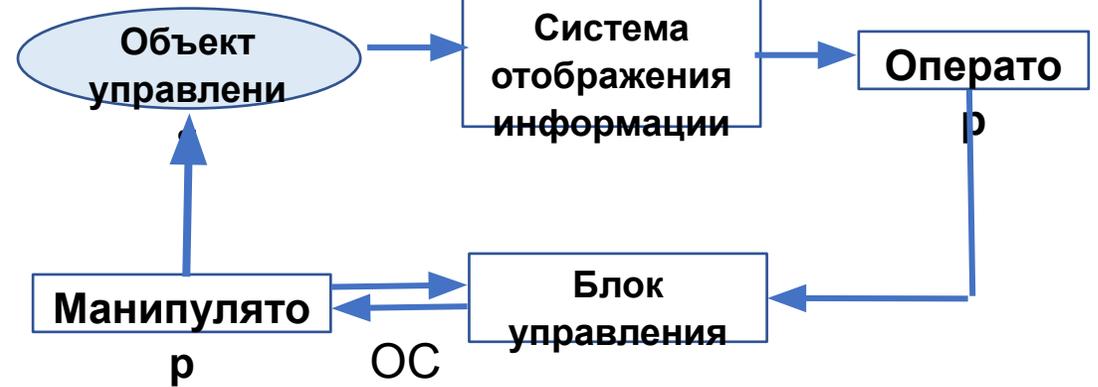


Системы управления роботами - манипуляторами

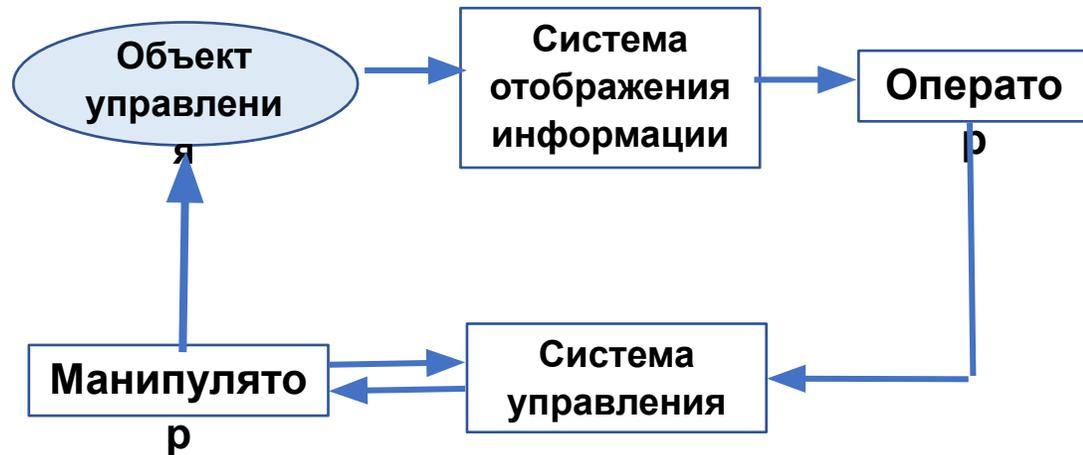
Командное управление



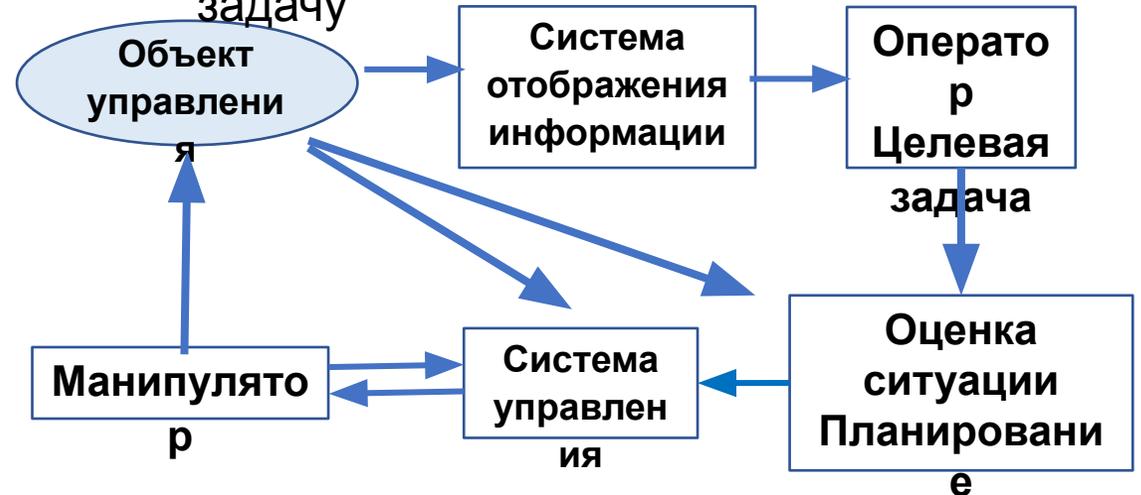
Копирующее управление



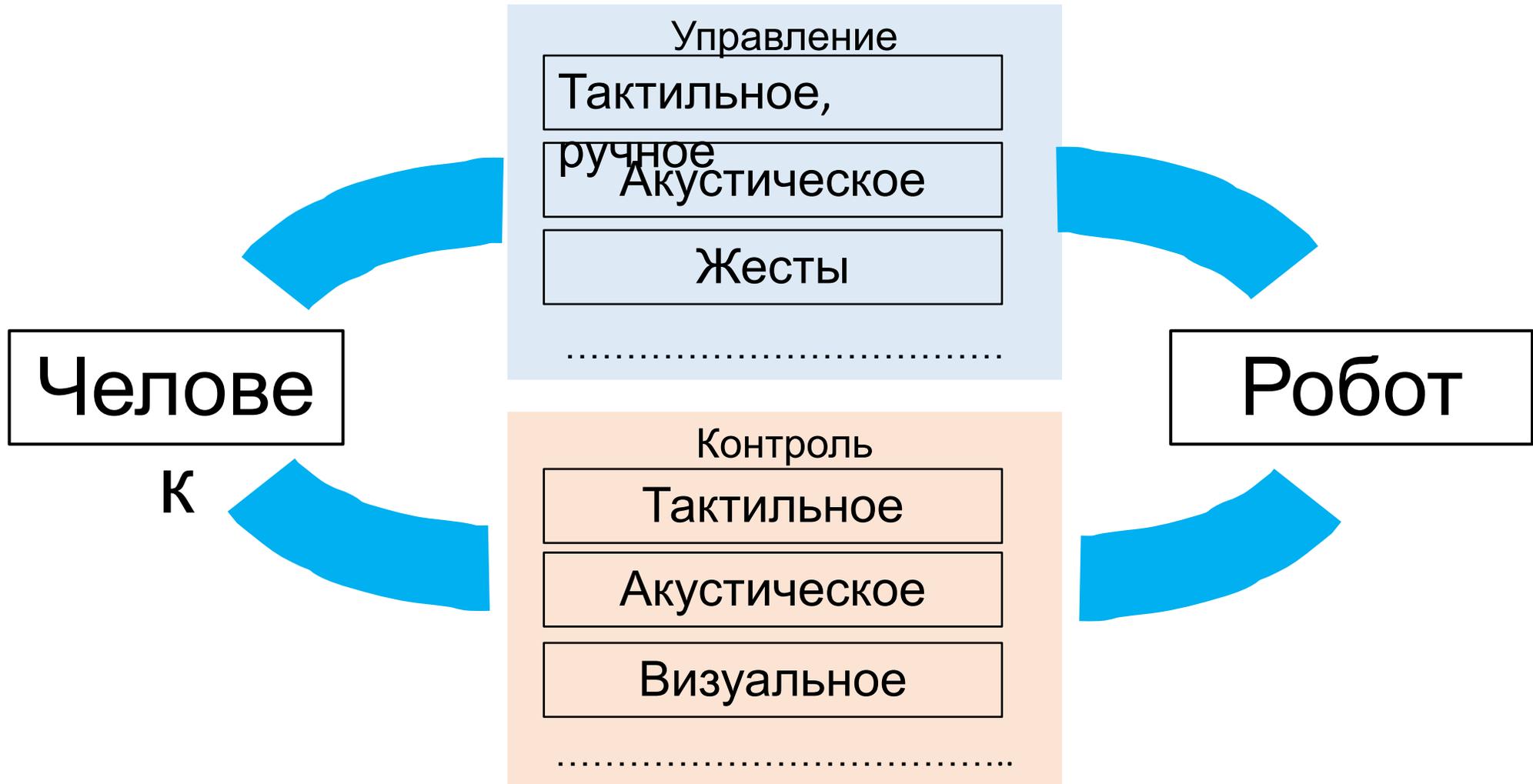
Полуавтоматическое управление Оператор управляет схватом



Автоматическое управление Оператор определяет целевую задачу



Каналы связи Ч - Р



Инженерная психология

Комплексы, объединяющие работу ТС (в т.ч. роботов) и человека, называются эргатическими или системой “человек - машина” (СЧМ).

Проблема оптимального синтеза СЧМ решается с использованием методов инженерной психологии.

Основные задачи инженерной психологии:

- анализ функций человека в СЧМ
- изучение процессов преобразования информации человеком при приеме, переработке, принятии решений и выполнении управляющих воздействий;
- разработка принципов построения рабочих мест операторов;
- изучение влияния психологических факторов на эффективность СЧМ;
- разработка принципов и методов профессиональной подготовки операторов в СЧМ;
- разработка теории инженерно - психологического проектирования и ее использование при разработке СЧМ.

Проектирование СЧМ

Эффективность работы СЧМ зависит от согласованности действий человека - оператора и отдельных подсистем ТС.

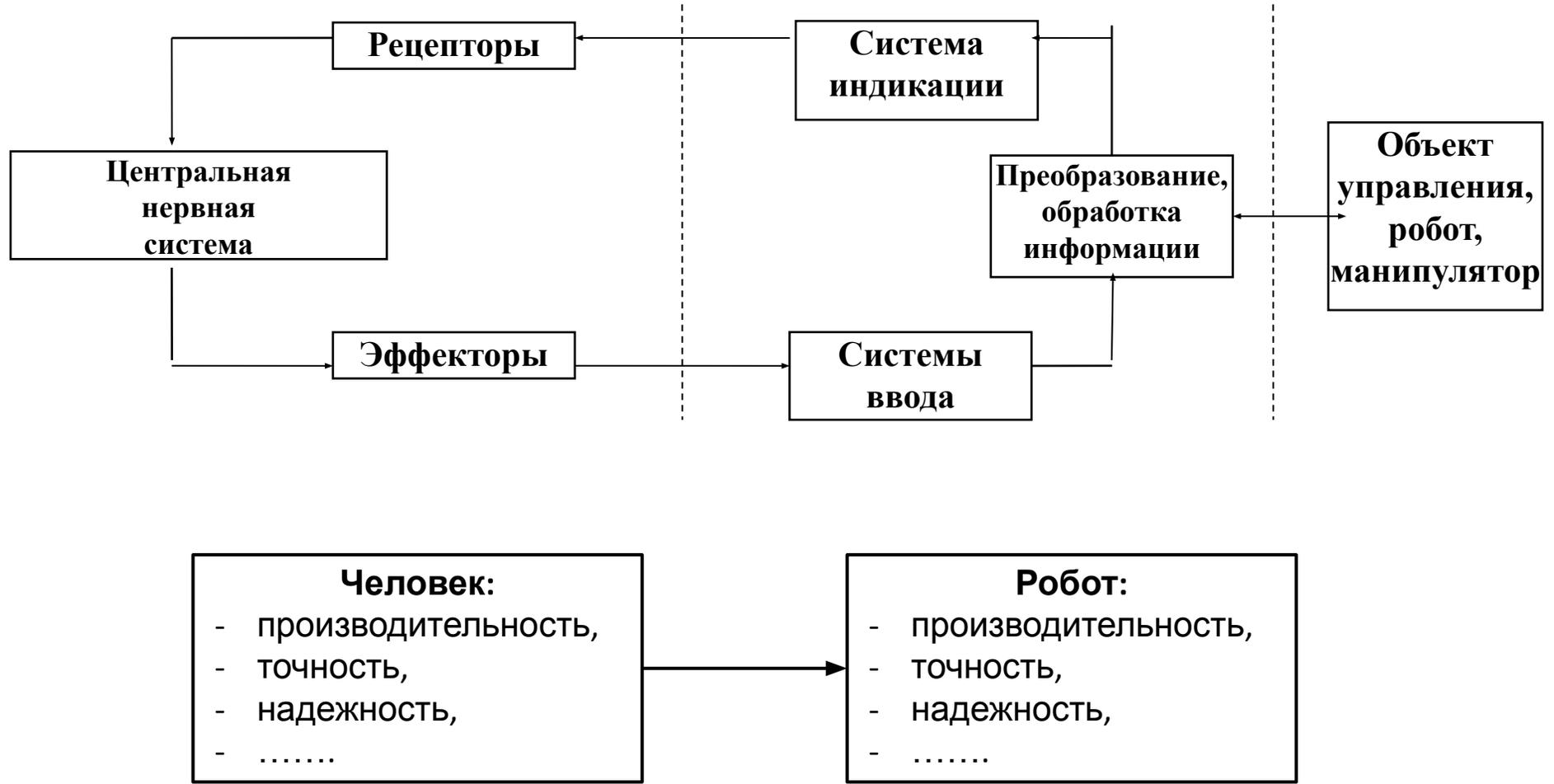
Человек – оператор (в дальнейшем, оператор) может выполнять различные функции, в частности:

- постановка целевых задач (определение критериев, рисков и пр.);
- планирование (стратегическое, оперативно-тактическое) управлений;
- непосредственное (или интерактивное) управление Р;
- контроль работы ТС и т.д.

Структура СЧМ

- Информация о состоянии объекта управления (ОУ), например, манипулятора, выдается устройством преобразования и обработки информации (УПОИ) на средства индикации (СИ) (в общем случае - средства воспроизведения информации). Информация может выдаваться в виде изображения наблюдаемой сцены, координат захватного устройства и т.д.
- Человек-оператор (Ч-О) воспринимает информацию с помощью рецепторов (Р). Решения, принимаемые человеком, реализуются в виде соответствующих действий с помощью эффекторов (Э) - органов движения или речи, воздействующих на средства ввода (СВ). Например, может быть принято решение о переводе захватного устройства в другую область рабочего пространства.
- Устройства отображения информации (УОИ) - технические средства, используемые для создания динамических информационных моделей управляемых или контролируемых объектов.

Схема СЧМ



Характеристики оператора

При проектировании СЧМ оператор рассматривается как одно из звеньев данной системы (Ч – Р, Ч – М, ...).

Входными характеристиками звена являются характеристики анализаторов.

К одной из основных характеристик анализаторов человека относится чувствительность.

Нижний абсолютный порог чувствительности характеризует минимальную величину раздражителя, вызывающую ощущение.

Верхний абсолютный порог чувствительности - максимальная величина раздражителя, нарушающая деятельность анализатора или вызывающая боль.

Абсолютная чувствительность анализатора вычисляется по формуле

$$\delta = 1/J,$$

где J - величина интенсивности раздражителя, соответствующая нижнему абсолютному порогу чувствительности.

Человек ощущает звуки в области частот от 16 - 20 Гц до 20 - 22 кГц и цветовые сигналы в диапазоне длин волн от 380 до 760 нм. Наибольшая чувствительность глаз лежит в спектре от 500 до 600 нм.

Дифференциальный порог чувствительности (ДПЧ) анализатора (порог различения) определяется минимальной разницей между интенсивностями двух раздражителей, когда в ощущении они отражаются как различные. ДПЧ в известной степени характеризуют разрешающую способность анализатора.

Основными характеристиками человека-оператора являются: быстродействие и пропускная способность оператора, определяющие его производительность, а также точность, надежность и психическая напряженность.

Быстродействие характеризует время решения задачи оператором от момента появления сигнала до окончания выполнения управляющих действий.

В простых случаях это время вычисляется как $T_0 = a + bI$, где a - затраты времени от момента поступления информации до реализации решения, b - время, необходимое на переработку единицы информации, I - количество перерабатываемой информации.

Выполнение определенного действия в ответ на известный, но внезапно появившейся сигнал, реализуется на основе простой сенсомоторной реакции. Время решения подобной задачи складывается из латентного периода реакции (от момента появления сигнала до начала движения) и моторного компонента, в течении которого выполняется ответное действие.

Латентный период для тактильного анализатора простой сенсомоторной реакции составляет 90 - 200 мс, для зрительного - 150 - 220 мс, для слухового - 120 - 180 мс, а при температурном воздействии 280 - 1600 мс.

Если оператору предъявляется один из n заранее известных сигналов и он должен выбрать соответствующее движение, то латентный период такой дизъюнктивной реакции (реакции выбора) рассчитывается как $T_p = a + b \log n_1$, где a - коэффициент, эквивалентный времени простой реакции при наличии временной неопределенности в экспериментальной ситуации, b - коэффициент, учитывающий прирост времени реакции с увеличением стимульной неопределенности, n_1 - число вариантов выбора.

Оценка пропускной способности (C) оператора, характеризующей скорость приема и переработки информации, связана с решением ряда проблем. В частности, пропускная способность зависит от психофизиологических особенностей конкретного человека, сложности деятельности, условий работы, вида принимаемой и перерабатываемой информации и т.д..

Например при считывании символьной информации $C = I/T = (n \log_2 R) / T$, где I - объем принимаемой информации [бит], n - число правильно считанных символов, R - длина алфавита, T - время считывания и отображения всех символов.

Средняя пропускная способность человека при чтении “про себя” равна 45 бит/с, при громком чтении -30 бит/с, при сложении или умножении двух цифр -12 бит/с, при счете предметов - 3 бит/с. При одноактном опознании букв или цифр $C \cong 55$ бит/с.

В рабочих условиях при опознании предъявляемой информации реальная пропускная способность оператора не превышает 5,5 бит/с, а при необходимости переработки и передачи информации пропускная способность уменьшается в десятки раз.

Динамические модели оператора

- Если оператор управляет объектами в составе замкнутой динамической системы, то для исследования его работы используются передаточные функции вида

$$W(p) = k \frac{N(p)}{M(p)} e^{-\tau t},$$

где k , τ - коэффициент усиления и время запаздывания оператора, $M(p)$, $N(p)$ – полиномы, p – оператор Лапласа.

В зависимости от решаемых задач, может выбираться различный порядок полиномов. В частности, если необходимо учитывать способность оператора к прогнозированию (учету первой и второй производных сигнала), полином $M(p)$ должен иметь соответствующий порядок. Полином $N(p)$ может иметь порядок от нулевого до четвертого и позволяет учитывать реакцию нервно-мышечной системы, свойство фильтрации высокочастотных составляющих и т.д.

В простейших случаях используется следующая передаточная функция оператора

$$W(p) = k \frac{1}{T_0 s + 1} e^{-\tau t},$$

где $T_0 \geq 0,1$ с - постоянная времени оператора.

Точность работы оператора

Точность определяет степень соответствия выполнения оператором определенных функций предписанному алгоритму. Показатель точности может относиться к различным параметрам. Так, под точностью работы оператора может пониматься степень соответствия считанного значения параметра значению, отображаемому на индикаторе, или на самолете - степень выдерживания курса (скорости, высоты).

Точность работы оператора зависит от его психофизиологических характеристик, степени его обученности (тренированности), сложности выполняемых задач, условий работы и других факторов.

Количественной оценкой точности являются погрешности.

Систематические погрешности оператора могут устраняться поправками. Случайные погрешности оцениваются среднеквадратической погрешностью.

Надежность оператора

Надежность оператора - это способность выполнять в полном объеме возложенные на него функции при определенных условиях работы.

Надежность оператора оценивается показателями, аналогичными показателям надежности ТС [разд. Надежность].

Вероятность безошибочного выполнения оператором заданного алгоритма работы в течении времени t вычисляется по формуле

$$P_{\text{ч}}(t) = P_{\text{б}} P(T_{\text{а}} \leq t),$$

где $P_{\text{б}}$ - вероятность безошибочного выполнения алгоритма, $P(T_{\text{а}} \leq t)$ - вероятность своевременного выполнения алгоритма.

Точность и надежность работы оператора в существенной степени зависят от его психической напряженности. При определении напряженности оператора учитываются: коэффициент загруженности, период занятости, длина очереди (заявок на обработку информации), время пребывания информации на обработке, скорость поступления информации.

Для комфортной работы оператора необходимо, чтобы коэффициент загруженности

$$\eta = \tau_0 / T_{\text{д}} \leq 0,75,$$

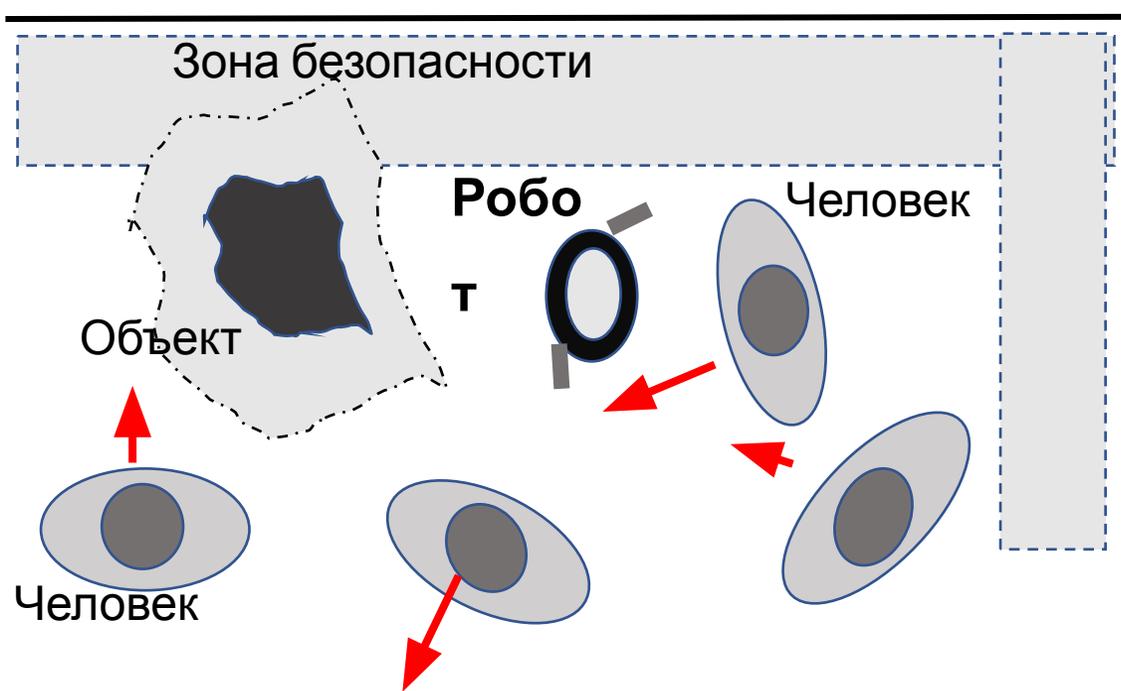
где τ_0 - время, в течении которого оператор занят обработкой информации, $T_{\text{д}}$ - общее время дежурства.

Рекомендуется, чтобы время непрерывной работы (период занятости) оператора не превышало 15 мин.

Безопасность человека – основа робототехники

Коллаборативные роботы - коботы

При проектировании автономных роботов необходимо руководствоваться указаниями международного стандарта **ISO/TS 15066 “Robot and Robotic Devices – Collaborative robots”**, предусматривающего меры по обеспечению безопасности людей при их взаимодействии с роботами.

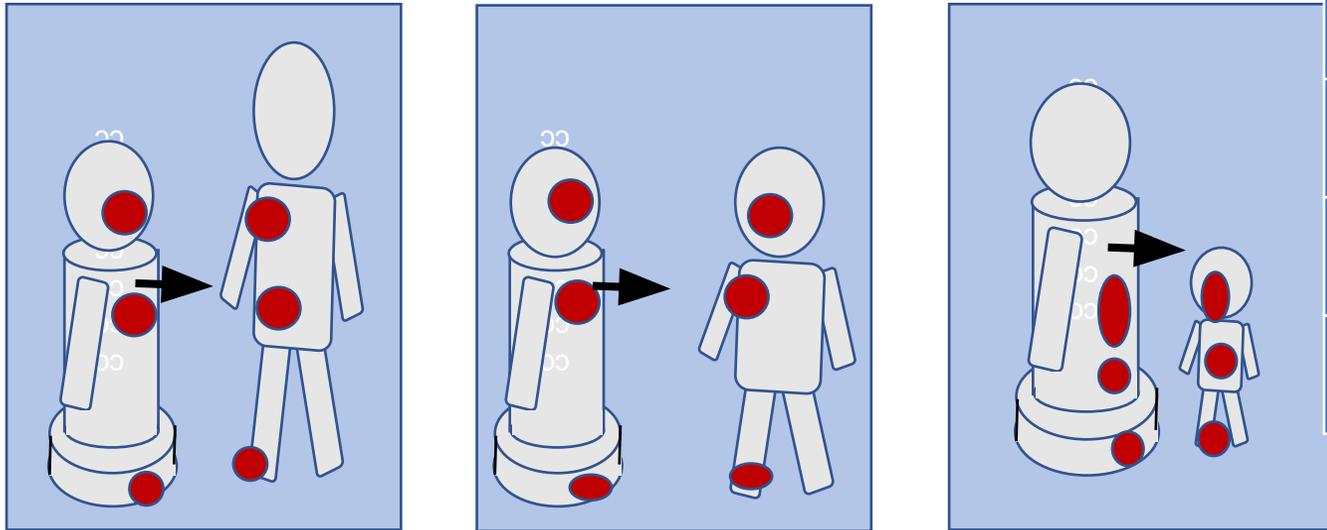


Факторы, влияющие на безопасность человека:

- допустимые усилия (силы, давление), возникающие при квази – статических контактах;
- допустимые усилия, возникающие при динамических контактах (transient contact);
- допустимая передача энергии от робота человеку.

Контакт человек - робот

Варианты столкновений человека и робота



Пятна на роботе, покрашенные красным цветом, показывают области возможных контактов.

Область контакта	m_H кг	K н/мм	E_{max} j
Лицо	4,4	75	0,11
Плечо	40	35	2,5
Живот	40	10	2,4
Нога	75	60	0,52

m – масса отдельных частей тела взрослого человека,

K – коэффициенты жесткости (аналог жесткости пружины),

E – максимально допустимая передаваемая энергия.