

The background of the slide shows several orange industrial robotic arms, likely KUKA, in a factory environment. The arms are positioned at various heights and angles, some reaching towards the camera. The lighting is bright, highlighting the metallic and plastic surfaces of the robots.

# ПРОМЫШЛЕННЫЕ ЖЕЛЕЗНЫЕ РОБОТЫ

Курс лекций для специальности  
190205 – подъемно-транспортные, строительные,  
дорожные машины и оборудование

*Лектор: Курзенев Д. В.*

# Цели и задачи дисциплины

Целями дисциплины «Промышленные роботы» является **приобретение** студентами **знаний основ робототехники, изучение конструкций промышленных роботов и элементов их расчета**, а также вопросов, связанных с **выбором и эксплуатацией робототехнических комплексов**.

По завершении изучения дисциплины студенты должны знать: **основные типы и конструкции промышленных роботов общего и специального назначения, их параметры, устройство и работу, область использования**, а также **их роль в автоматизации производства и создании гибких производственных систем**.

Студенты должны **научиться проведению обследования технологических участков, уметь определять возможность применения роботов, внедрять и успешно эксплуатировать робототехнические комплексы**.

# Объем и виды учебной работы по дисциплине

Вид учебной работы	Всего часов
Общая трудоемкость дисциплины	210
<b>Аудиторные занятия</b>	<b>102</b>
Лекции (Л)	51
Практические занятия (ПЗ)	34
Лабораторные работы (ЛР)	17
<b>Самостоятельная работа (СРС)</b>	<b>108</b>
Подготовка к практическим занятиям	13
Подготовка к лабораторным занятиям	5
Подготовка к лекциям	19
Другие виды самостоятельных занятий	71
Вид итогового контроля (зачет, экзамен)	Э


# Рекомендуемая литература

## Основная:

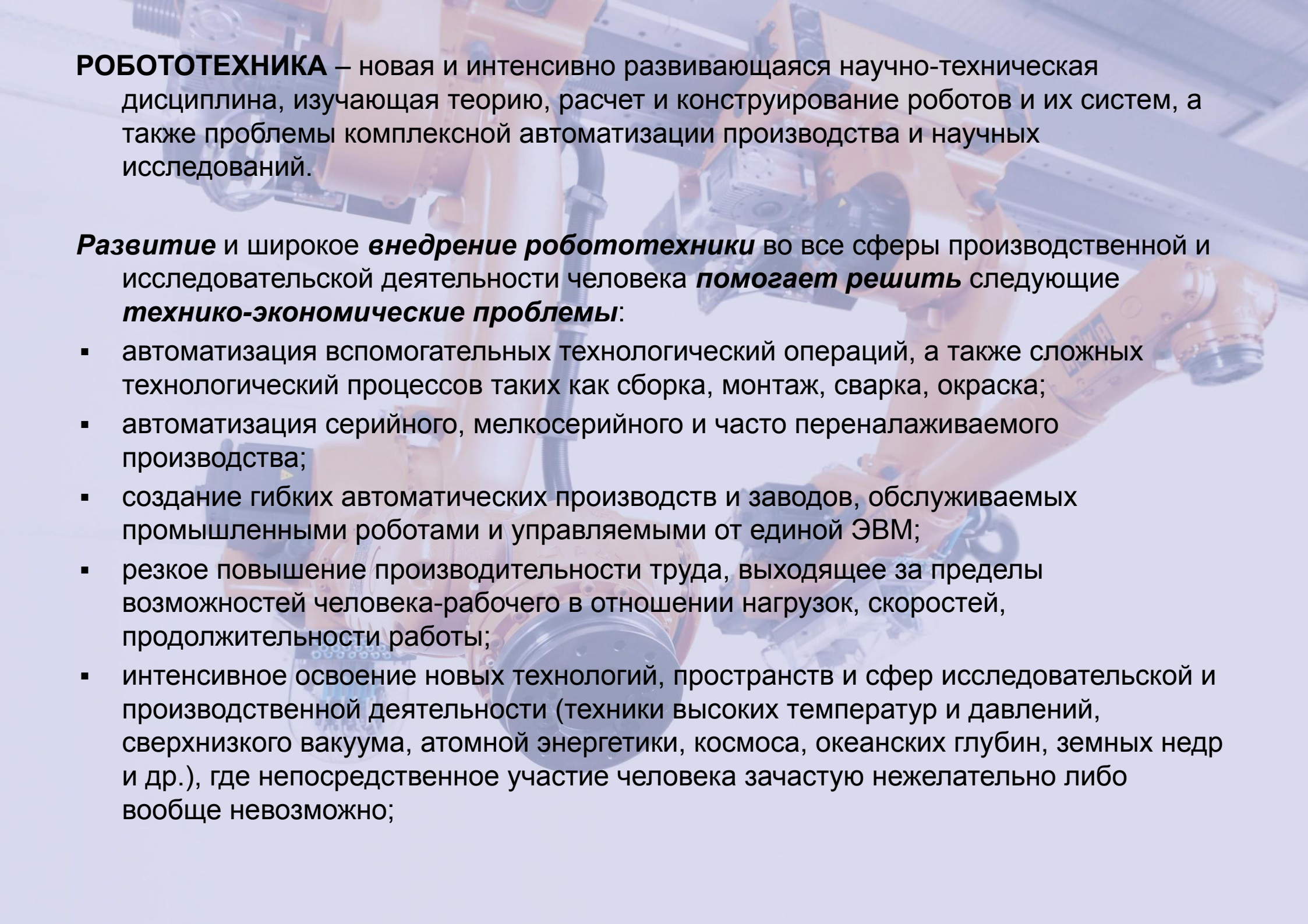
1. Юревич Е.И. Основы робототехники: Учебное пособие для студентов вузов, 2-е изд. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 416 с.
2. Попов Е.П., Письменный Г.В. Основы робототехники: Введение в специальность: Учебник для вузов по специальности «Робототехнические системы и комплексы». М.: Высшая школа, 1990. 224 с.
3. Механика промышленных роботов: Учебное пособие для втузов. В 3-х кн. /Под ред. К.В. Фролова, Е.И. Воробьева. М.: Высшая школа, 1988. 304 с.

## Дополнительная:

4. Козырев Ю.Г. Промышленные роботы: Справ. 2-е изд. М.: Машиностроение, 1988. 392 с.
5. Конструирование роботов: Пер. с фр./ П. Андре, Ж. Кофман, Ф. Лот, Ж.П. Тайар. М.: Мир, 1986. 360 с.
6. Робототехнические системы и комплексы: Учебн. пособие для вузов/ И.И. Мачульский, В.П. Запятой, Ю.В. Майоров и др.: Под ред. И.И. Мачульского. М.: Транс-порт, 1999. 446 с.
7. Автоматизация моделирования промышленных роботов./ В.М. Дмитриев, Л.А. Арайс, А.В. Шутенков. М.: Машиностроение, 1995. 304 с.
8. Теория механизмов, машин и манипуляторов: Учебн. пособие для вузов. /И.П. Фи-лонов, П.П. Анцилович, В.К. Акулич. Минск: Дизайн ПРО, 1998. 656 с.
9. Расчет параметров пневмоприводов промышленных роботов: Метод. указания по курсам: «Основы робототехника» и «Расчет и конструирование манипуляционных систем» Б.Н. Абрамов. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 1993. 32 с.
10. ГОСТ 25686-85 Манипуляторы, автооператоры и промышленные роботы. Системы производственные гибкие. Термины и определения.
11. ГОСТ 28685 Роботы промышленные. Классификация.

The background of the slide features several orange industrial robotic arms, likely from the KUKA brand, positioned in a factory environment. The arms are mounted on a metal structure and are in various orientations, some pointing towards the camera and others away. The lighting is bright, and the overall scene is slightly blurred, emphasizing the mechanical components of the robots.

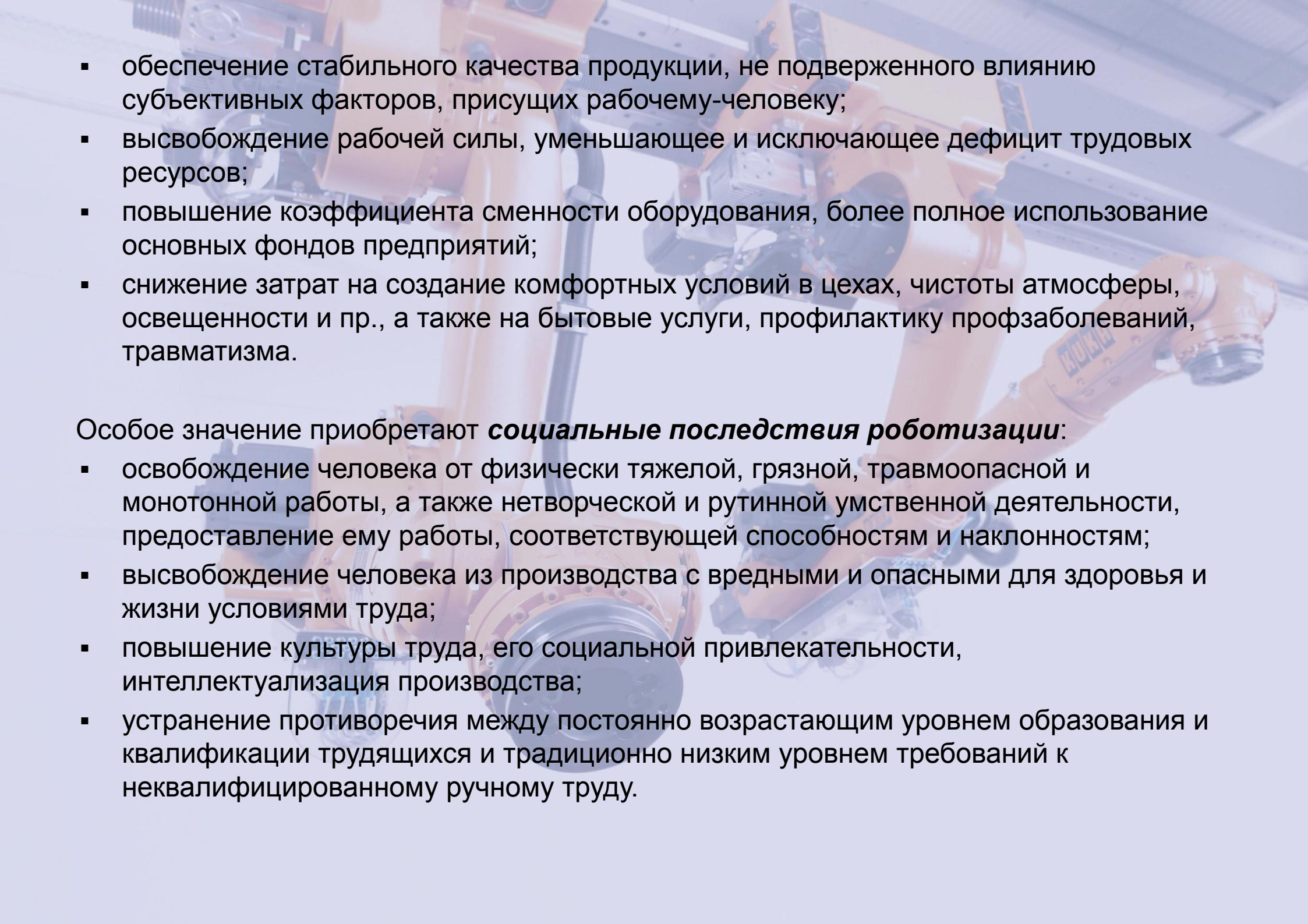
# Раздел 1. ВВЕДЕНИЕ



**РОБОТОТЕХНИКА** – новая и интенсивно развивающаяся научно-техническая дисциплина, изучающая теорию, расчет и конструирование роботов и их систем, а также проблемы комплексной автоматизации производства и научных исследований.


**Развитие** и широкое **внедрение робототехники** во все сферы производственной и исследовательской деятельности человека **помогает решить** следующие **технико-экономические проблемы**:

- автоматизация вспомогательных технологических операций, а также сложных технологических процессов таких как сборка, монтаж, сварка, окраска;
- автоматизация серийного, мелкосерийного и часто переналаживаемого производства;
- создание гибких автоматических производств и заводов, обслуживаемых промышленными роботами и управляемыми от единой ЭВМ;
- резкое повышение производительности труда, выходящее за пределы возможностей человека-рабочего в отношении нагрузок, скоростей, продолжительности работы;
- интенсивное освоение новых технологий, пространств и сфер исследовательской и производственной деятельности (техники высоких температур и давлений, сверхнизкого вакуума, атомной энергетики, космоса, океанских глубин, земных недр и др.), где непосредственное участие человека зачастую нежелательно либо вообще невозможно;

- 
- обеспечение стабильного качества продукции, не подверженного влиянию субъективных факторов, присущих рабочему-человеку;
  - высвобождение рабочей силы, уменьшающее и исключаящее дефицит трудовых ресурсов;
  - повышение коэффициента сменности оборудования, более полное использование основных фондов предприятий;
  - снижение затрат на создание комфортных условий в цехах, чистоты атмосферы, освещенности и пр., а также на бытовые услуги, профилактику профзаболеваний, травматизма.

Особое значение приобретают ***социальные последствия роботизации:***

- освобождение человека от физически тяжелой, грязной, травмоопасной и монотонной работы, а также нетворческой и рутинной умственной деятельности, предоставление ему работы, соответствующей способностям и наклонностям;
- высвобождение человека из производства с вредными и опасными для здоровья и жизни условиями труда;
- повышение культуры труда, его социальной привлекательности, интеллектуализация производства;
- устранение противоречия между постоянно возрастающим уровнем образования и квалификации трудящихся и традиционно низким уровнем требований к неквалифицированному ручному труду.

The background of the slide shows several industrial robotic arms, likely KUKA, in a factory environment. The arms are orange and black, with various joints and sensors visible. They are positioned in a way that suggests they are working on a production line. The lighting is bright, and the overall scene is clean and industrial.

**Раздел 2.**  
**ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О**  
**ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТАХ**



## 2.1 Исторический аспект развития робототехники

### ПЕРВЫЙ ЭТАП

В I в. н. э. Герон Александрийский и другие известные деятели тех времен предпринимали попытки создать различные человекоподобные механизмы, которые, «поглотив» монету, открывали двери помещений, продавали воду, выполняли различные несложные процедуры.

В 400 г. до н. э. греческий философ Акрит сконструировал летающих орла, голубя и ползающую улитку

Во времена египетского фараона Птолемея II Филадельфа (III в. до н. э.), согласно свидетельствам древних папирусов, был создан механический человек.

### ВТОРОЙ ЭТАП

В средние века в большом количестве создавались различные человекоподобные механизмы, которые получили название **«андроиды»**.

Первого андроида (механического писца) изготовили швейцарский часовщик Пьер-Жак Дро и его сын Анри Дро (1774 г.). Он с важным видом макал гусиное перо в чернильницу и ровным, красивым почерком писал длинную фразу, двигая при этом головой и «любовно» оглядывая написанное.

## 2.1 Исторический аспект развития робототехники

### ТРЕТИЙ ЭТАП

В 1920 г. чешский писатель Карел Чапек в своей социально-фантастической пьесе «R. U. R» («Россумские универсальные роботы») впервые употребил слово «**робот**», которое быстро получило признание во всем мире, и олицетворяет теперь новое научно-техническое направление.



## 2.2 Основные понятия и определения

**РОБОТ** – это автономно функционирующая универсальная автоматическая машина, предназначенная для воспроизведения определенных физических, двигательных и умственных функций человека, наделенная теми или иными средствами обратной связи (слухом, зрением, осязанием, обонянием, запоминанием и т. п.), а также способностью к обучению и адаптации в процессе активного взаимодействия с окружающей средой.

**ПРОМЫШЛЕННЫЙ РОБОТ (ПР)\*** – это автоматическая машина, стационарная или передвижная, состоящая из исполнительного устройства в виде манипулятора, имеющего несколько степеней подвижности, и перепрограммируемого устройства программного управления для выполнения в производственном процессе двигательных и управляющих функций.

**МАНИПУЛЯТОР\*** – управляемое устройство или машина для выполнения двигательных функций, аналогичных функциям руки человека при перемещении объектов в пространстве, оснащенное рабочим органом.

**ИСПОЛНИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ПР\*** – устройство ПР, выполняющее все его двигательные функции.

## 2.2 Основные понятия и определения

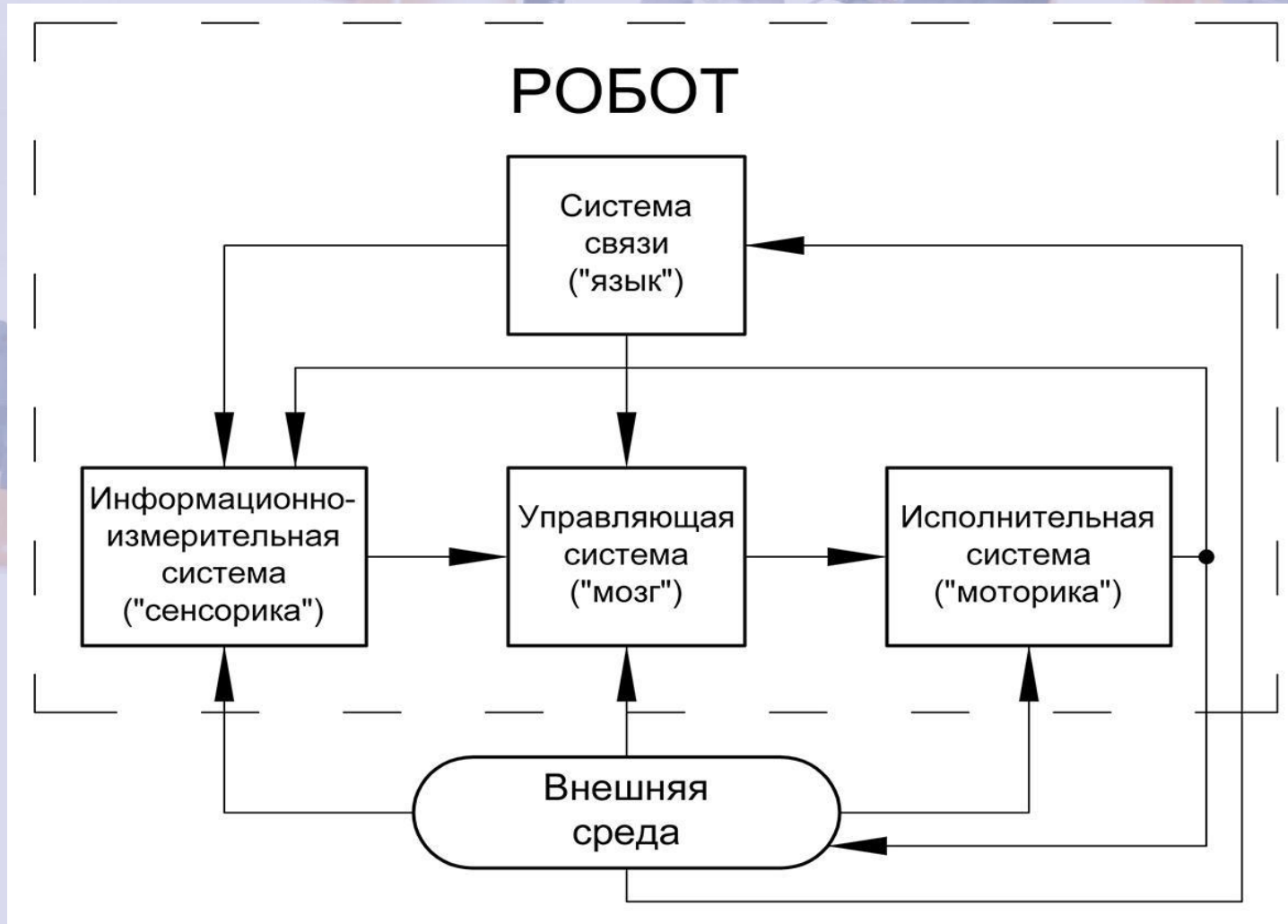
**РАБОЧИЙ ОРГАН ПР** – составная часть исполнительного устройства ПР для непосредственного выполнения технологических операций и (или) вспомогательных переходов. Примерами рабочего органа служат сварочные клещи, окрасочный пистолет, сборочный инструмент, захватное устройство.

**УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ ПР** – устройство ПР для формирования и выдачи управляющих воздействий исполнительному устройству в соответствии с управляющей программой.

\* Определение по ГОСТ 25686-85 «Манипуляторы, автооператоры и промышленные роботы. Системы производственные гибкие. Термины и определения»

## 2.3 Обобщенная структурная схема робота и функции его систем

Робот, активно взаимодействующий с окружающей средой, в общем виде должен содержать *следующие системы*:



Структурно-функциональная схема взаимодействия систем робота

## 2.3 Обобщенная структурная схема робота и функции его систем

- **УПРАВЛЯЮЩАЯ СИСТЕМА** – это «мозг» робота, который служит для выработки закона управления механизмами исполнительной системы на основе заложенной программы с учетом сигналов обратной связи от сенсорной системы, а также для организации общения робота с человеком на том или ином языке. Управляющие системы реализуются на базе пневматических или электрических логических элементов, аналоговых и цифровых систем, управляющих ЭВМ.
- **ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ (СЕНСОРНАЯ) СИСТЕМА** – это искусственные органы чувств робота, предназначенные для восприятия и преобразования информации о состоянии внешней среды и самого робота. В качестве элементов сенсорной системы используются телевизионные и оптикоэлектронные устройства, лазерные и ультразвуковые дальномеры, тактильные и контактные датчики, датчики положения, потенциометры, тахометры, акселерометры и т.п..
- **СИСТЕМА СВЯЗИ** – это «язык» робота, который служит для обмена информацией между роботом и человеком или другими роботами и устройствами с целью формулировки заданий роботу, контроля за функционированием его систем, диагностики неисправностей, регламентной проверки и т.п.. Информация от человека обычно поступает через устройство ввода или пульт управления. Информация от робота к человеку поступает, как правило, в форме световых и звуковых сигналов (табло, цифровые индикаторы, дисплеи, телекамеры и т.п.).

## 2.3 Обобщенная структурная схема робота и функции его систем

- **ИСПОЛНИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА («МОТОРИКА»)** робота – это устройства, предназначенные для воздействия на объекты окружающей среды или взаимодействия с ними. В качестве исполнительных систем используют механические руки – манипуляторы, механические ноги, самоходные тележки, синтезаторы речи, графопостроители и т. п..



## 2.4 Классификация роботов

### 2.4.1 По поколениям:

- **РОБОТЫ ПЕРВОГО ПОКОЛЕНИЯ** – это роботы с программным управлением (ПР – программные роботы), предназначенные для выполнения определенной, жестко запрограммированной последовательности операций, диктуемой соответствующим технологическим процессом.

Управление такими роботами осуществляется по заранее заданной программе при строго определенных и неизменяемых условиях. Роботы первого поколения легко переобучаются, поэтому достаточно универсальны и гибко перестраиваемы, но их функциональные возможности существенно ограничены недостаточным совершенством управляющей и информационно-измерительной системами, то есть у них практически отсутствует способность к восприятию внешнего мира и формированию его модели.

К роботам первого поколения относят большинство промышленных роботов для обслуживания металлорежущего оборудования, печей, прессов, технологических линий, литейных машин и т. п..



## 2.4 Классификация роботов (2.4.1 По поколениям)

- **РОБОТЫ ВТОРОГО ПОКОЛЕНИЯ** – это очувствленные роботы (ОР), предназначенные для работы с неориентированными объектами произвольной формы, выполнения сборочных и монтажных операций, сбора информации о внешней среде.

Они отличаются большим набором и совершенством сенсорных датчиков, как внешних, так и внутренних, более сложной системой управления, требующей для своей реализации управляющей ЭВМ. Неотъемлемой их частью является алгоритмичность и программное обеспечение, предназначенное для обработки сенсорной информации и выработки управляющих воздействий.

- **РОБОТЫ ТРЕТЬЕГО ПОКОЛЕНИЯ** – это так называемые интеллектуальные, или интегральные, роботы (ИР), предназначенные не только для воспроизведения физических действий человека, но и для автоматизации его интеллектуальной деятельности, то есть для решения интеллектуальных задач.

Они отличаются от роботов сложностью и совершенством управляющей системы, включающей в себя элементы искусственного интеллекта. Такие роботы способны к обучению и адаптации в процессе взаимодействия с внешней средой.

В настоящее время таких роботов не существует, но во всем мире ведутся интенсивные научные исследования и разработки по их созданию.

### 2.4.2 По назначению и решаемому классу задач («эволюционная» классификация):



«Эволюционная» классификация роботов

## 2.4 Классификация роботов (2.4.2 «Эволюционная» классификация)

- **ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ РОБОТЫ** – это роботы, предназначенные для выполнения тяжелой, монотонной, вредной и опасной для здоровья людей физической работы, а также отдельных видов трудоемких, напряженных и утомительных умственных работ (проектирование, информационное обеспечение, управление).

*Разновидности* производственных роботов:

- **ПРОМЫШЛЕННЫЕ РОБОТЫ (ПР)** – предназначены для автоматизации основных и вспомогательных операций в различных отраслях промышленности: машиностроении и приборостроении, в горнодобывающей, нефтехимической, металлургической, атомной и других.

По *производственно-технологическим признакам* ПР подразделяются на:

- **Производственные**, или **технологические (ППР)**, служащие для основных операций технологических процессов;
- **Подъемно-транспортные**, или **вспомогательные (ПТПР)**, выполняющие действия типа «взять – перенести – положить»;
- **Универсальные (УПР)** для различных операций – как основных, так и вспомогательных.

## 2.4 Классификация роботов (2.4.2 «Эволюционная» классификация)

По **специализации** ПР подразделяют на:

- **Специальные**, выполняющие строго определенные технологические операции или обслуживающие конкретные модели технологического оборудования;
  - **Специализированные**, или **целевые**, предназначенные для выполнения технологических операций одного вида (сварки, сборки, окраски) или для обслуживания определенной группы моделей технологического оборудования, объединенных общностью манипуляционных действий;
  - **Универсальные**, или **многоцелевые**, ориентированные на выполнение как основных, так и вспомогательных технологических операций различных видов и с различными группами моделей технологического оборудования.
- 
- **СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ РОБОТЫ** обеспечивают автоматизацию трудоемких и монотонных процессов в сельскохозяйственном производстве.
  - **ТРАНСПОРТНЫЕ РОБОТЫ** предназначены для автоматизации управления различными транспортными средствами и системами.
  - **СТРОИТЕЛЬНЫЕ РОБОТЫ** призваны автоматизировать строительное производство, которому присуще огромное количество как вспомогательных, так и основных ручных операций.

## 2.4 Классификация роботов (2.4.2 «Эволюционная» классификация)

- **РОБОТЫ-ПРОЕКТИРОВЩИКИ** применяют для автоматизированного расчета и проектирования машин и сооружений, разработки технологических процессов, систем управления, информационного обеспечения и т. п..

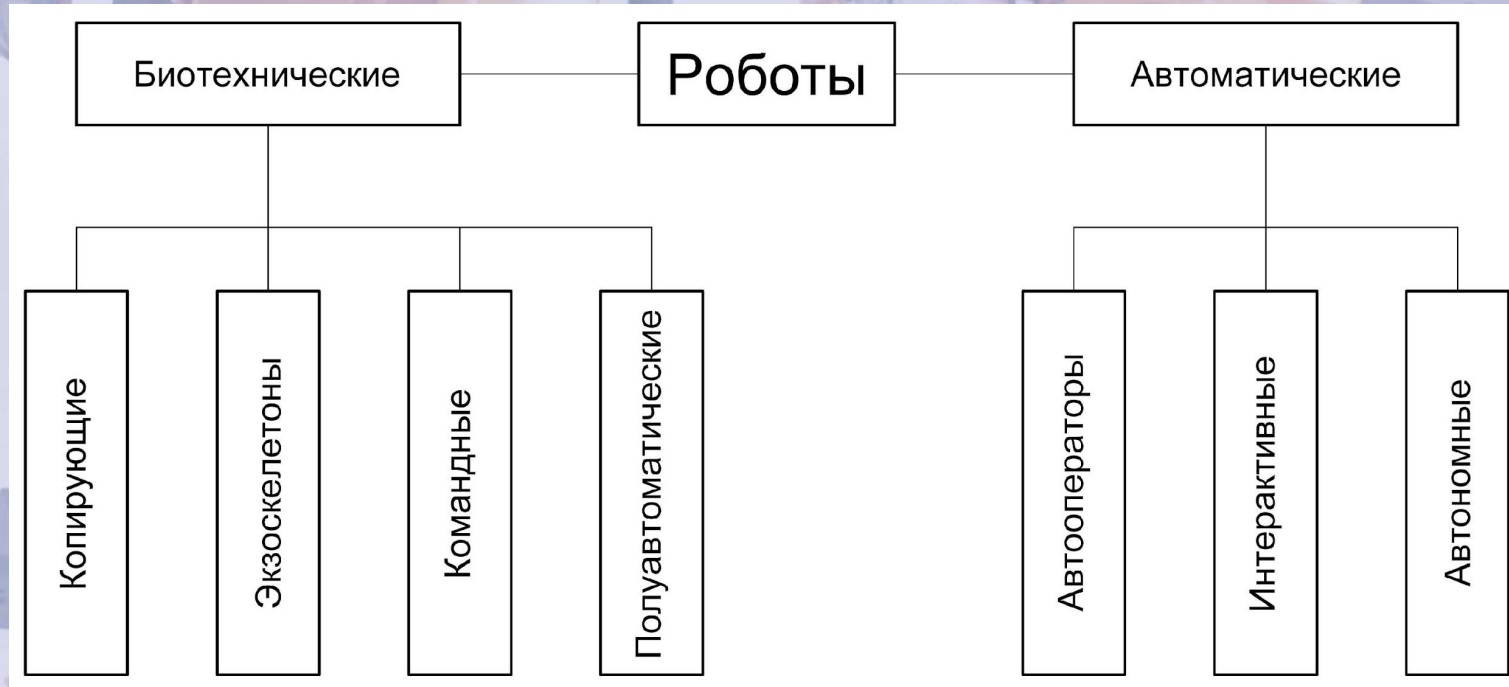
В настоящее время существуют лишь отдельные системы автоматизированного проектирования (САПР), далекие от совершенства, но интенсивно развивающиеся.

- **БЫТОВЫЕ РОБОТЫ** используются для автоматизации различных операций как непосредственно в быту человека, так и в сфере его обслуживания.
- **ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ РОБОТЫ** – это роботы, предназначенные для поиска, сбора, переработки и передачи информации об исследуемых объектах, какими могут быть труднодоступные или недоступные для человека сферы – космическое пространство, океанские глубины, недра Земли, экстремальные лабораторные условия, либо области, где требуются выявление, переработка и анализ огромной по объему информации, например, информационный поиск и разведка, искусство и литература.

Примером исследовательских роботов служат автоматические аппараты для исследования космоса и планет (космические аппараты «Луна-3», «Луна-16», «Луноход-1», «Луноход-2»).

В последнее время интенсивно развиваются и роботы для исследования подводных глубин мирового океана.

### 2.4.3 По методу управления:



Классификация роботов по методу управления

- **БИОТЕХНИЧЕСКИЕ РОБОТЫ** функционируют только с непосредственным участием человека-оператора.
- **КОПИРУЮЩИЕ РОБОТЫ** имеют задающий (управляющий) орган, идентичный в определенном масштабе исполнительному, а перемещение оператором задающего органа полностью копируется исполнительным органом с учетом масштаба.

## 2.4 Классификация роботов (2.4.3 По методу управления)

- **ЭКЗОСКЕЛЕТОНЫ** – это антропоморфные конструкции, обычно «надеваемые» на тело и управляемые человеком, расширяющие его физические возможности. К ним также относят механические протезы и искусственные конечности, в том числе с биоуправлением (от биотоков мозга).
- **КОМАНДНЫЕ РОБОТЫ** управляются оператором с помощью кнопок, клавиш или рукояток, при этом на пульт управления поступает информация о среде функционирования робота.
- **ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКИЕ РОБОТЫ** помимо задающей системы в виде рукоятки, управляющей несколькими степенями подвижности, имеют малую ЭВМ, которая преобразует сигналы с рукоятки в сигналы, управляющие движениями исполнительного органа.
- **РОБОТЫ С АВТОМАТИЧЕСКИМ УПРАВЛЕНИЕМ** полностью или частично функционируют без участия оператора.
- **АВТООПЕРАТОРЫ** выполняют определенный цикл несложных действий по жестко заданной, неизменяемой программе.

## 2.4 Классификация роботов (2.4.3 По методу управления)

- **ИНТЕРАКТИВНЫЕ РОБОТЫ**, в отличие от биотехнических, имеют устройства памяти и могут попеременно управляться либо оператором, либо автоматически.

В зависимости от формы участия человека-оператора **интерактивное управление** может быть **двух видов**:

- ✓ автоматизированное, когда происходит чередование во времени автоматических режимов управления и биотехнических;
- ✓ супервизорное, когда все части заданного цикла операций выполняются автоматически, но переход от одного этапа к следующему осуществляется после подачи оператором соответствующей целеуказательной команды.

- **АВТОНОМНЫЕ РОБОТЫ** могут функционировать без участия оператора. Обычно это осязательные роботы с элементами искусственного интеллекта.



### 2.4.4 По принципу управления

По принципу управления роботы можно разделить на виды, соответствующие поколениям роботов:

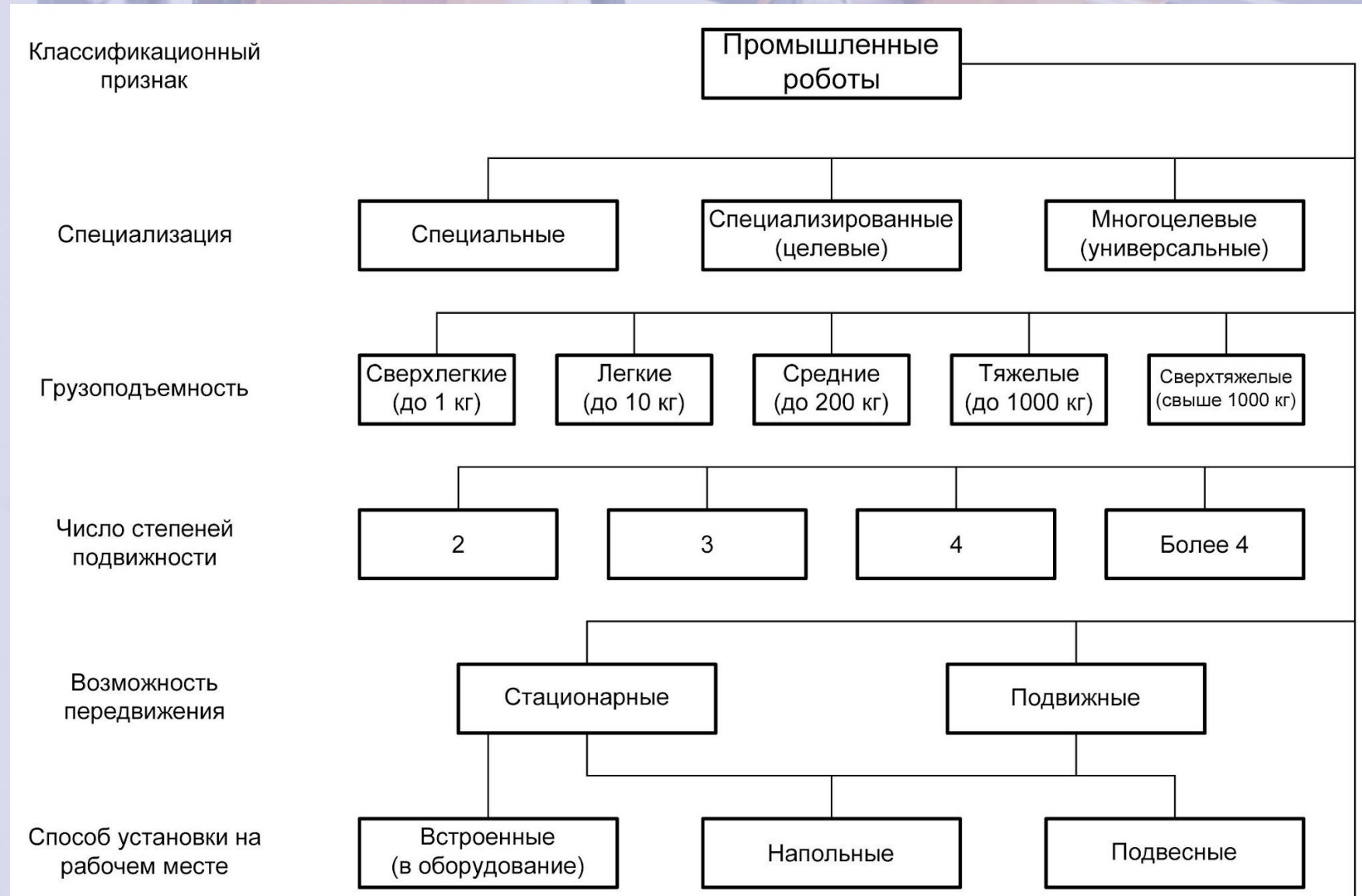
- **ЖЕСТКОПРОГРАММИРУЕМЫЕ** – это такие роботы, программа действий которых содержит полный набор информации, не изменяющейся в процессе работы, несмотря на изменение внешних условий.
- **АДАПТИВНЫЕ РОБОТЫ** имеют сенсорное обеспечение, позволяющее корректировать программные действия в соответствии с получаемой информацией о внешней среде и состоянии самого робота, т. е. приспосабливать свои действия к изменению внешних условий.
- **ГИБКОПРОГРАММИРУЕМЫЕ РОБОТЫ** способны полностью формировать программу своих действий на основе поставленной цели и получаемой информации об окружающей среде.

### 2.4.5 По величине обслуживаемого объема рабочей зоны:

Класс	Рабочий объем, м <sup>3</sup>	Операции
Микророботы	До 0,01	Особо точные с весьма мелкими деталями
Минироботы	От 0,01 до 0,1	Точные с мелкими деталями
Малые роботы (ограниченной грузоподъемности)	От 0,1 до 1,0	С мелкими и средними деталями, выполняемые рабочими сидя (преимущественно женщинами)
Средние роботы	От 1,0 до 10,0	Со средними деталями, выполняемые рабочими стоя (преимущественно мужчинами)
Крупные роботы	Свыше 10,0	Превышающие физические возможности человека

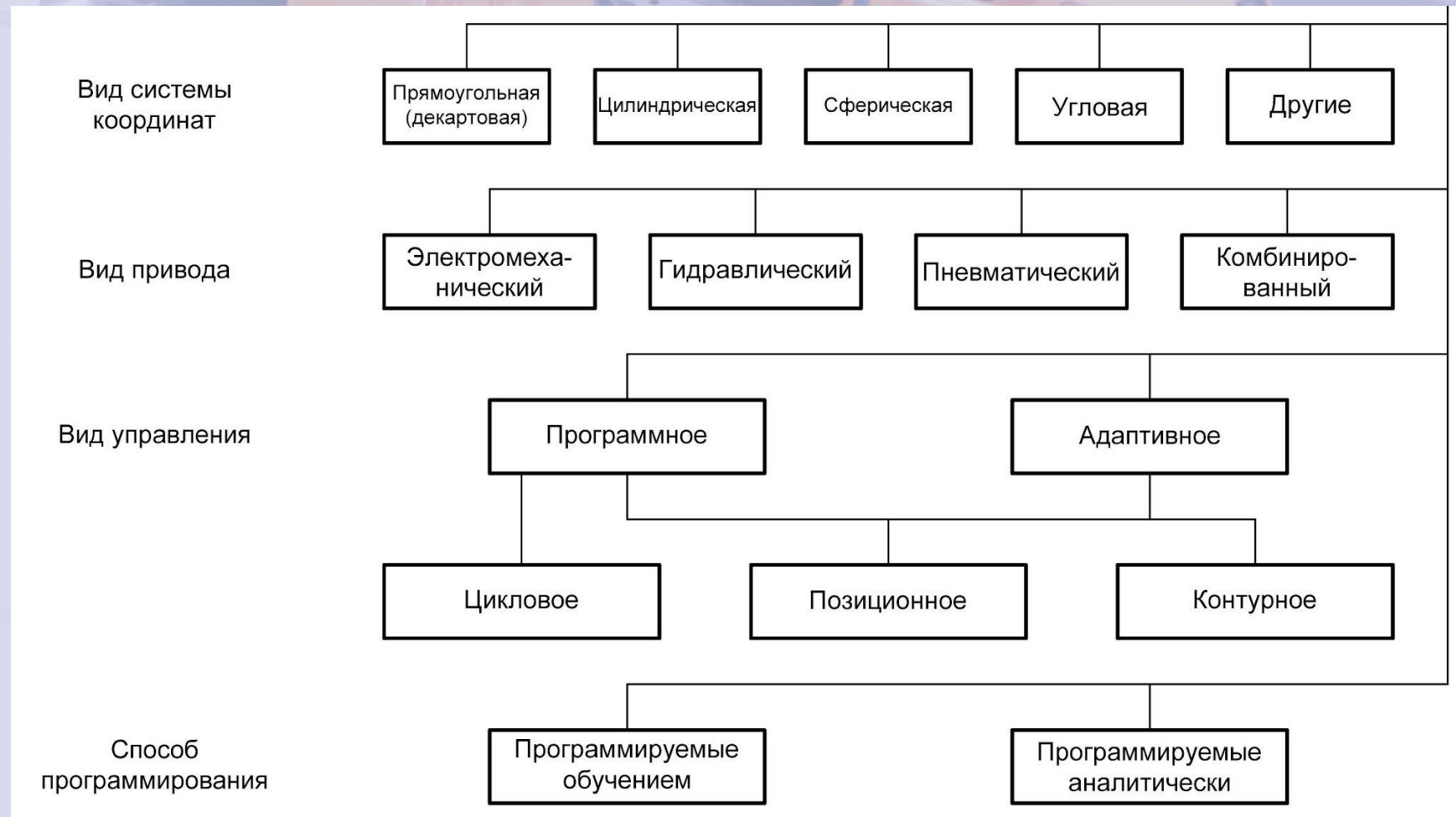
Классификация роботов по величине рабочего объема

### 2.4.6 По ГОСТ 25685-83 «Роботы промышленные. Классификация»:



Классификация роботов по ГОСТ 25685-83 (начало)

## 2.4 Классификация роботов (2.4.6 По ГОСТ 25685-83)



Классификация роботов по ГОСТ 25685-83 (окончание)

## 2.5 Технические характеристики и показатели ПР

### 2.5.1 Основные технические характеристики:

- **НОМИНАЛЬНАЯ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТЬ ПР** – наибольшее значение массы предметов производства или технологической оснастки, при которой гарантируются их захватывание, удержание и обеспечение установленных значений эксплуатационных характеристик.
- **ЧИСЛО СТЕПЕНЕЙ ПОДВИЖНОСТИ ПР** – это сумма возможных координатных движений его рабочего органа или объекта манипулирования относительно опорной системы.

Различают *степени подвижности*:

- переносные, используемые для перемещения рабочего органа ПР;
- ориентирующие – для его ориентации в пространстве.
- **ВЕЛИЧИНЫ И СКОРОСТИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ РАБОЧЕГО ОРГАНА** по каждой степени подвижности характеризуют геометрию рабочего пространства ПР, а также особенности движения и ориентации переносимого предмета и определяются механикой манипулятора ПР и возможностями привода.

Скорости перемещений звеньев манипулятора характеризуют важное качество ПР – **быстродействие**, от которого зависит время обслуживания технологического оборудования.

## 2.5 Технические характеристики и показатели ПР (2.5.1 Основные тех. хар-ки)

- **РАБОЧАЯ ЗОНА ПР** – это пространство, в котором может находиться рабочий орган при его функционировании. Характеризуется формой и объемом.
- **ФОРМА, или ВИД, РАБОЧЕЙ ЗОНЫ** – пространственная фигура, описываемая рабочим органом ПР при прохождении им предельно достижимых положений.
- **ОБЪЕМ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ (или РАБОЧИЙ ОБЪЕМ)** – это объем пространства, к пределам которого может перемещаться рабочий орган ПР при его функционировании.
- **РАБОЧЕЕ ПРОСТРАНСТВО** – это пространство, в котором может находиться исполнительное устройство подвижного ПР при его функционировании.
- **ЗОНА ОБСЛУЖИВАНИЯ** – пространство, в котором рабочий орган ПР выполняет свои функции в соответствии с назначением и установленными характеристиками.
- **ПОГРЕШНОСТЬ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ИЛИ ОТРАБОТКИ ТРАЕКТОРИИ** – это отклонение положения (или траектории) рабочего органа ПР от заданного программой при многократном позиционировании.

## 2.5 Технические характеристики и показатели ПР (2.5.1 Основные тех. хар-ки)

- **ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ПОГРЕШНОСТЬ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ** – величина, характеризующая точность роботов с цикловым и позиционным управлением и равная отношению абсолютной погрешности позиционирования к максимальному расстоянию от оси ближайшей к основанию робота кинематической пары до границы рабочей зоны, выраженная в процентах.
- **ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ПОГРЕШНОСТЬ ОТРАБОТКИ ТРАЕКТОРИИ** – величина, определяющая точность роботов с контурным управлением и равная отношению абсолютной погрешности перемещения исполнительного механизма по траектории в пределах рабочей зоны к максимальному расстоянию от оси ближайшей к основанию робота кинематической пары до границы рабочей зоны; выражается в процентах.

По относительной погрешности позиционирования или отработки траектории различают четыре

Относительная погрешность позиционирования или отработки траектории, %	Класс точности
До 0,01	0
От 0,01 до 0,05	1
От 0,05 до 0,1	2
Свыше 0,1	3

### 2.5.2 Дополнительные технические характеристики:

- Количество рук;
- Мобильность;
- Система координат;
- Тип привода;
- Тип системы управления;
- Объем памяти;
- Способ программирования;
- Количество внешних команд;
- Габариты;
- Занимаемая площадь;
- Масса робота;
- Исполнение в зависимости от условий окружающей среды;
- Время безотказной работы;
- Расчетный срок службы.

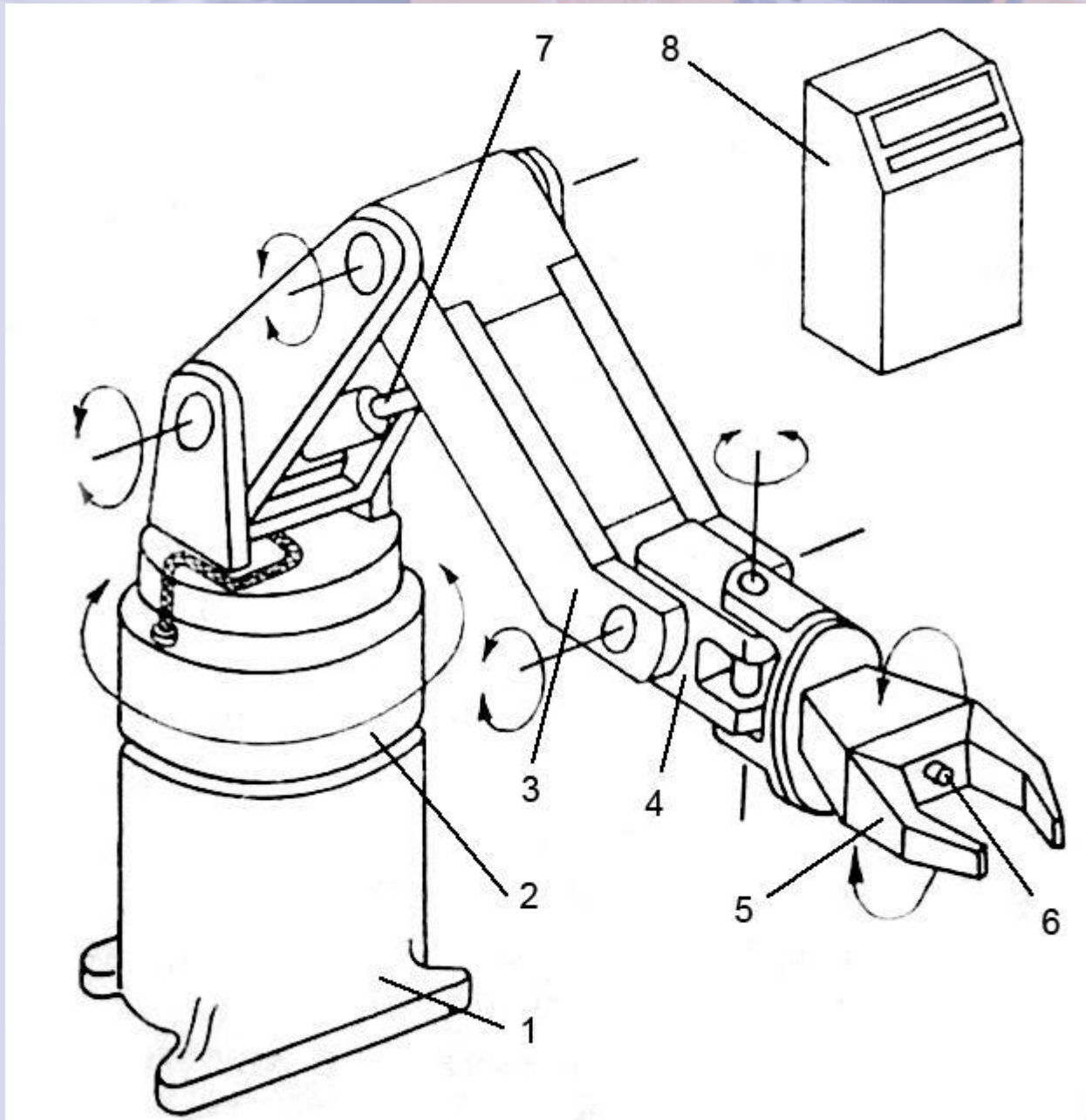


## 2.6 Составные части и конструкция ПР



Общая структурная схема ПР

## 2.6 Составные части и конструкция ПР



Конструкция промышленного  
робота

1 – опорная конструкция  
(основание);

2 – колонна;

3 – рука манипулятора;


4 – кисть;

5 – рабочий орган (схват);

6 – датчик обратной связи;

7 – привод руки;

8 – блок управляющего  
устройства с пультом

The background of the slide shows several orange industrial robotic arms in a factory environment. The arms are mounted on a metal structure and are positioned in various orientations, some pointing towards the camera and others away. The lighting is bright, and the overall scene is clean and industrial.

**Раздел 3.  
КОНСТРУКТИВНОЕ  
УСТРОЙСТВО И МЕХАНИКА  
ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ**

# 3.1 Манипуляционная система

## 3.1.1 Общая характеристика

**МАНИПУЛЯЦИОННАЯ СИСТЕМА (МС)** или **МАНИПУЛЯТОР ПР** – это многозвенный пространственный механизм с разомкнутой кинематической цепью, первое звено которого (стойка) является основанием робота, а последнее несет рабочий орган, непосредственно взаимодействующий с объектом манипулирования.

**ЗВЕНО** механизма – деталь (либо совокупность деталей с общим законом движения), которая в процессе движения и взаимодействия с другими звеньями остается жесткой, не изменяя своих размеров и формы.

**КИНЕМАТИЧЕСКАЯ ПАРА** – соединение двух соприкасающихся звеньев, допускающее их определенное относительное движение.

**СТРУКТУРНАЯ СХЕМА МЕХАНИЗМА** – это графическое изображение механизма с применением условных обозначений звеньев и кинематических пар без указания размеров звеньев.

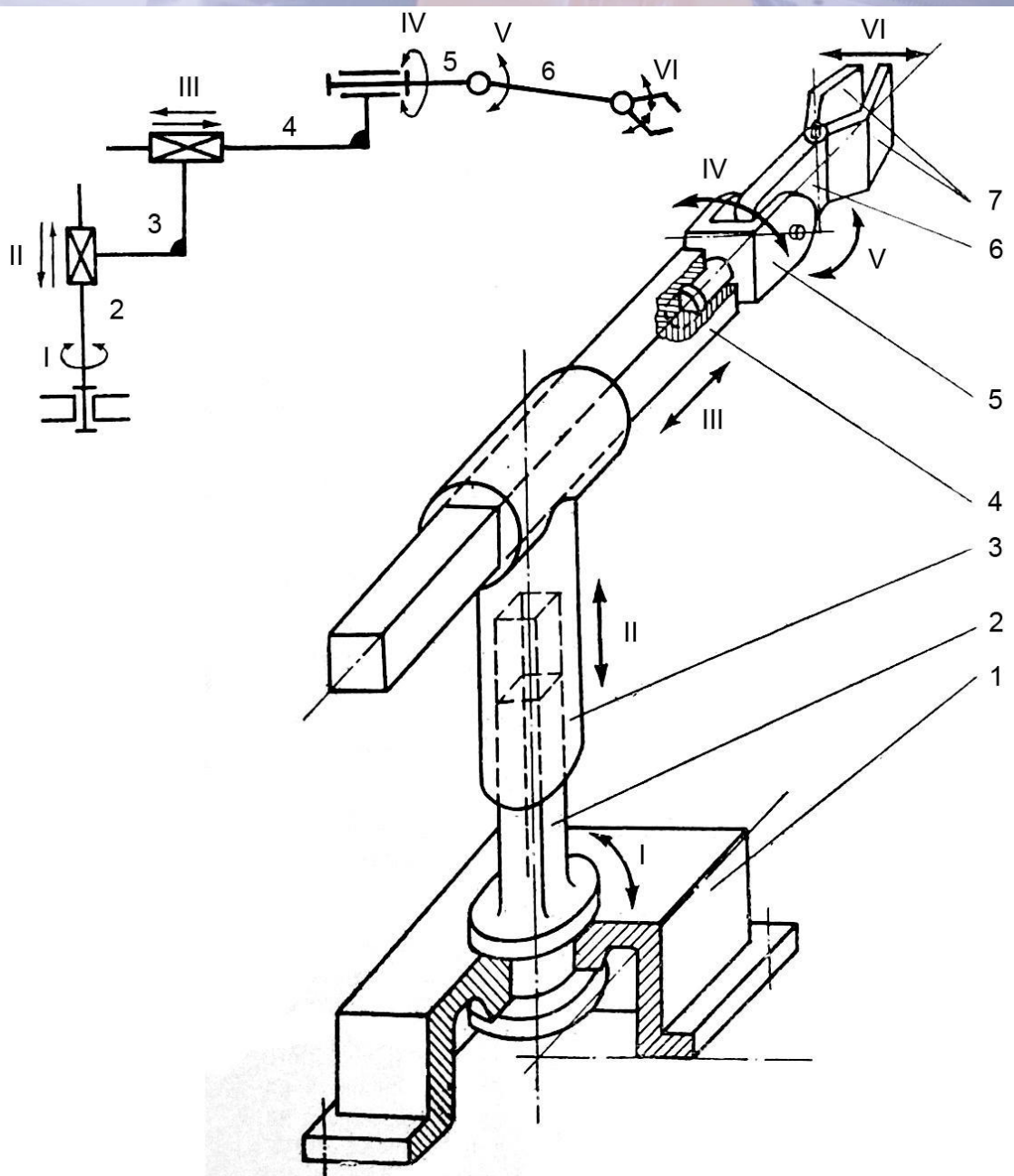
В отличие от структурной, **КИНЕМАТИЧЕСКАЯ СХЕМА** содержит размеры, необходимые для кинематического анализа и расчета механизма.

### 3.1 Манипуляционная система (3.1.1 Общая характеристика)

Элемент	Эскиз	Характеристика	Элемент	Эскиз	Характеристика	
Звено (стержень)		---	Плоское шарнирное соединение звеньев		Вращение вокруг поперечной оси (вращательная пара V класса)	
Неподвижное закрепление звена (стойка)		Движение отсутствует			Шаровой шарнир с пальцем	Вращение вокруг двух осей (вращательная пара IV класса)
Жесткое соединение звеньев						Шаровой шарнир
Подвижное соединение с перемещением вдоль прямолинейных направляющих		Возвратно-поступательное движение (поступательная пара V класса)	Захватное устройство		Зажимные элементы подвижны	
Винтовое подвижное соединение		Возвратно-поступательное движение и взаимосвязанное вращательное движение (поступательно-вращательная пара V кл.)			Зажимные элементы неподвижны	
Цилиндрическое соединение звеньев		Возвратно-поступат. движ. и независимое вращение вокруг продольной оси (цилиндрич. пара IV кл.)				

Условные обозначения элементов структурных и кинематических схем

### 3.1 Манипуляционная система (3.1.1 Общая характеристика)



Общий вид манипулятора и его структурная схема

1 – неподвижное звено (основание или корпус);

2 – колонна манипулятора;

3 – каретка;

4 – рука манипулятора;

5 и 6 – кисть манипулятора;

6 – рабочий орган (механический хват);

7 – захватные элементы (губки);

I, II, III – переносные движения;

IV, V – ориентирующие движения;

VI – внутреннее движение (зажатие

### 3.1.2 Степени подвижности манипулятора:

**ЧИСЛО СТЕПЕНЕЙ СВОБОДЫ (СТЕПЕНЕЙ ПОДВИЖНОСТИ) АБСОЛЮТНО ТВЕРДОГО ТЕЛА (ЗВЕНА)** – минимальное количество обобщенных координат (координаты  $x, y, z$  какой-либо его точки и углы Эйлера  $\psi, \Theta, \phi$ ), полностью определяющее положение и возможные направления движения тела.

$$W = 6 - S, \quad (3.1)$$

где  $W$  – число степеней свободы;

$S$  – число условий связи или ограничений движений.

Числом условий связи  $S$  определяется **КЛАСС КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ПАРЫ**.

**СТЕПЕНИ ПОДВИЖНОСТИ (СТЕПЕНИ СВОБОДЫ) МАНИПУЛЯТОРА** – это обобщенные координаты, определяющие положение в пространстве звеньев манипулятора ПР.

Число степеней подвижности  $W$  находится по структурной **формуле Сомова-Малышева** для открытой кинематической цепи:

$$W = 6n - (5P_5 + 4P_4 + 3P_3 + 2P_2 + P_1), \quad (3.2)$$

### 3.1 Манипуляционная система (3.1.2 Степени подвижности манипулятора)

где  $n$  – число подвижных звеньев;

$P_5, P_4, P_3, P_2, P_1$  – число кинематических пар соответственно 5-го, 4-го, 3-го, 2-го и 1-го классов.

Для плоских механизмов  $W_{пл} = 3n - (2P_5 + P_4)$ . (3.3)

Если в манипуляторе используют кинематические пары только пятого класса, то

$$W = 6n - 5P_5, \quad (3.4)$$

для плоских механизмов  $W_{пл} = 3n - 2P_5$ . (3.5)

В механизмах с разомкнутой кинематической цепью число подвижных звеньев всегда равно числу кинематических пар, т. е.

$$n = P_5 + P_4 + P_3 + P_2 + P_1,$$

и в этом случае число степеней подвижности для манипулятора ПР

$$W = P_5 + 2P_4 + 3P_3 + 4P_2 + 5P_1, \quad (3.6)$$

для плоского механизма  $W_{пл} = P_5 + 2P_4$ . (3.7)



## 3.1 Манипуляционная система (3.1.2 Степени подвижности манипулятора)

Для манипулятора из п. 3.1.1

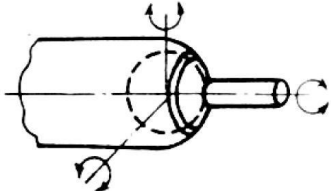
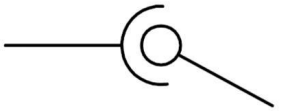
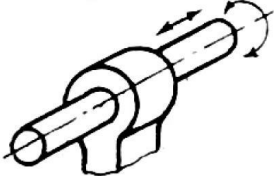
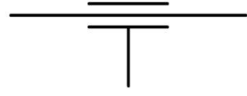
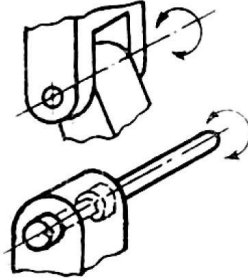
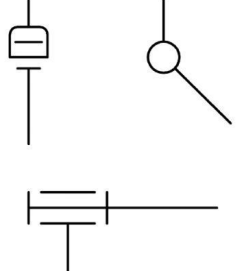
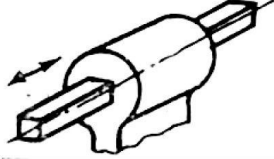
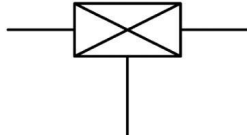
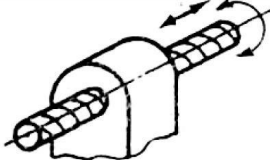
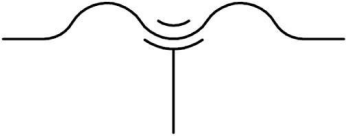
$$W = 6 \cdot 5 - (5 \cdot 5 + 4 \cdot 0 + 3 \cdot 0 + 2 \cdot 0 + 0) = 5.$$

**Степени подвижности манипулятора** в зависимости от назначения и характера движений разделяют на:

- переносные (региональные), обеспечивающие перемещение рабочего органа или объекта манипулирования в заданное место рабочей зоны;
- ориентирующие (локальные), обеспечивающие их ориентацию,
- координатные, или глобальные, обеспечивающие перемещение рабочего органа или объекта манипулирования за пределы рабочей зоны перемещением самого ПР.

Для обслуживания объемной рабочей зоны манипулятор должен иметь не менее трех степеней подвижности; при двух степенях объемная рабочая зона вырождается в поверхностную (плоскую, цилиндрическую или сферическую), при одной – в линейную (в виде прямой или дуги окружности).

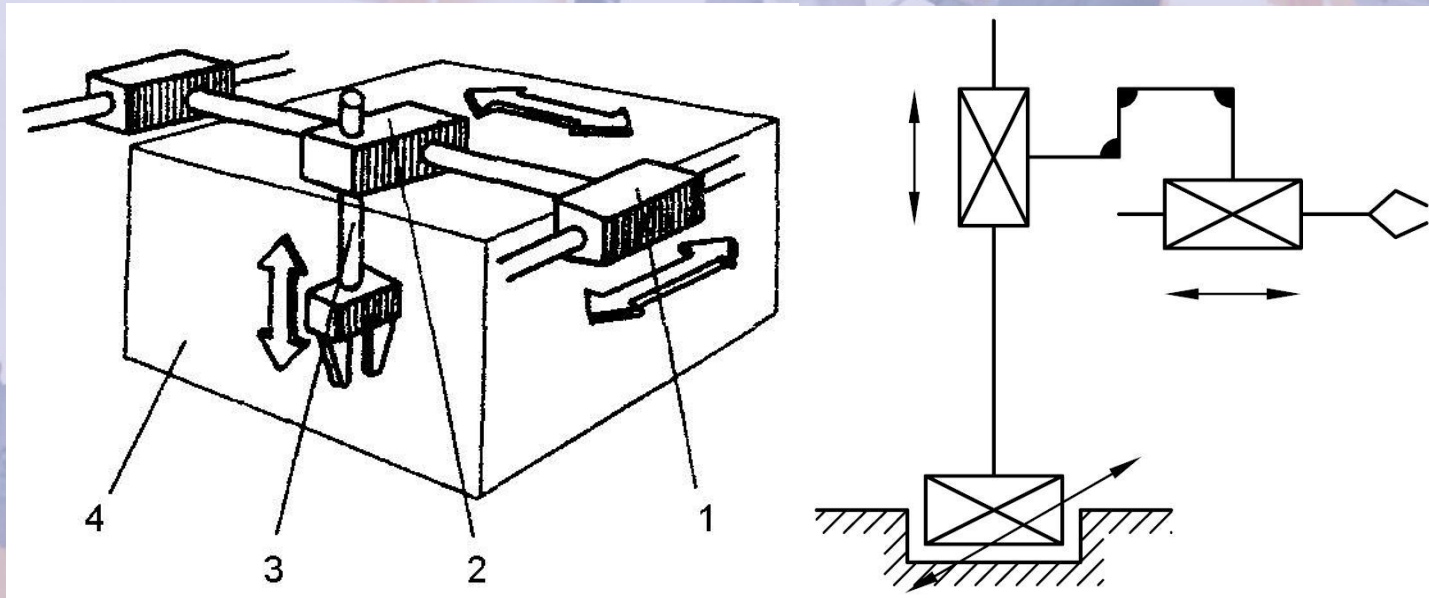
### 3.1.3 Виды кинематических пар звеньев

Наименование пары	S	W	Конструктивная схема	Условное обозначение
Шаровая	3	3		
Цилиндрическая	4	2		
Вращательная	5	1		
Поступательная	5	1		
Винтовая	5	1		

Виды кинематических пар многозвенных механизмов

### 3.1.4 Базовая система координат

#### 3.1.4.1 Прямоугольная (декартова) система координат



1 – рама; 2 – поперечная тележка (каретка); 3 – «рука» манипулятора; 4 – рабочая зона (параллелепипед).

**Примеры применения:** «Ритм-05.01»; «Электрохенд»; «Уоркмейт АСТ-1»

**Достоинства:**

- сравнительная простота построения манипулятора и программирования.

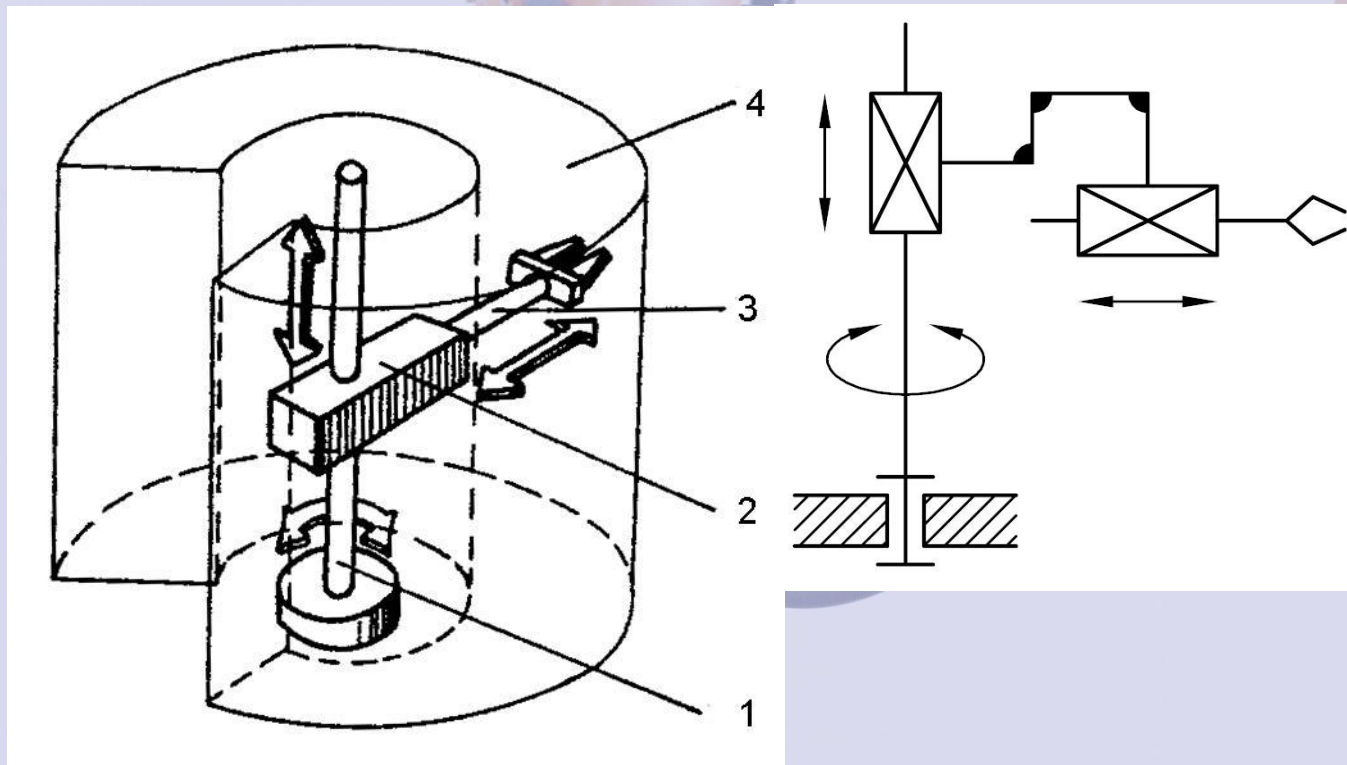
## 3.1 Манипуляционная система (3.1.4 Базовая система координат)

### **Недостатки:**

- чрезмерное увеличение габаритных размеров устройства при сравнительно небольшом объеме рабочей зоны;
- удлинение продолжительности заданной циклограммы процесса.

Чаще всего такие роботы выполняются в виде каретки, подвешенной на направляющих под или над обслуживаемым оборудованием, либо в виде порталной конструкции. Используется достаточно редко.

### 3.1.4.2 Цилиндрическая система координат



## 3.1 Манипуляционная система (3.1.4 Базовая система координат)

### **Достоинства:**

- обеспечение обслуживания большого объема рабочего пространства;
- наличие двух переносных поступательных перемещений наряду с вращательным облегчает планировку и компоновку рабочих мест и оборудования, создание робототехнических комплексов.

### **Недостаток:**

- затруднительность обслуживания объектов, расположенных на малой высоте.

Благодаря удобству конструктивного построения и программирования, такая конфигурация манипулятора получила широкое распространение.

**Примеры применения:** «Циклон-3»; «Циклон-5»; «Универсал-5»; ПР-5; ПР-10И.

### 3.1.4.3. Сферическая (полярная) система координат

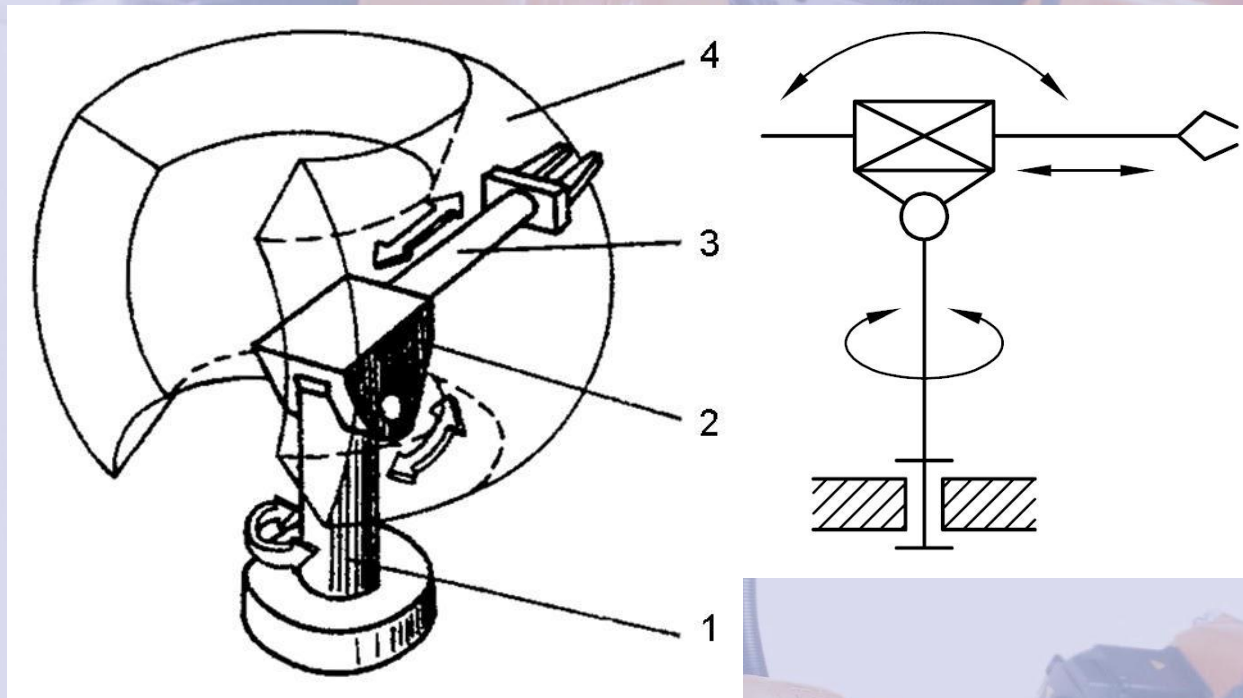
### **Недостатки:**

- громоздкая конструкция;
- требуется сложная система управления.

### **Достоинства:**

- высокая универсальность;
- возможность обслуживания большего объема рабочего пространства, чем манипуляторы, работающие в прямоугольной и цилиндрической системах координат.

## 3.1 Манипуляционная система (3.1.4 Базовая система координат)



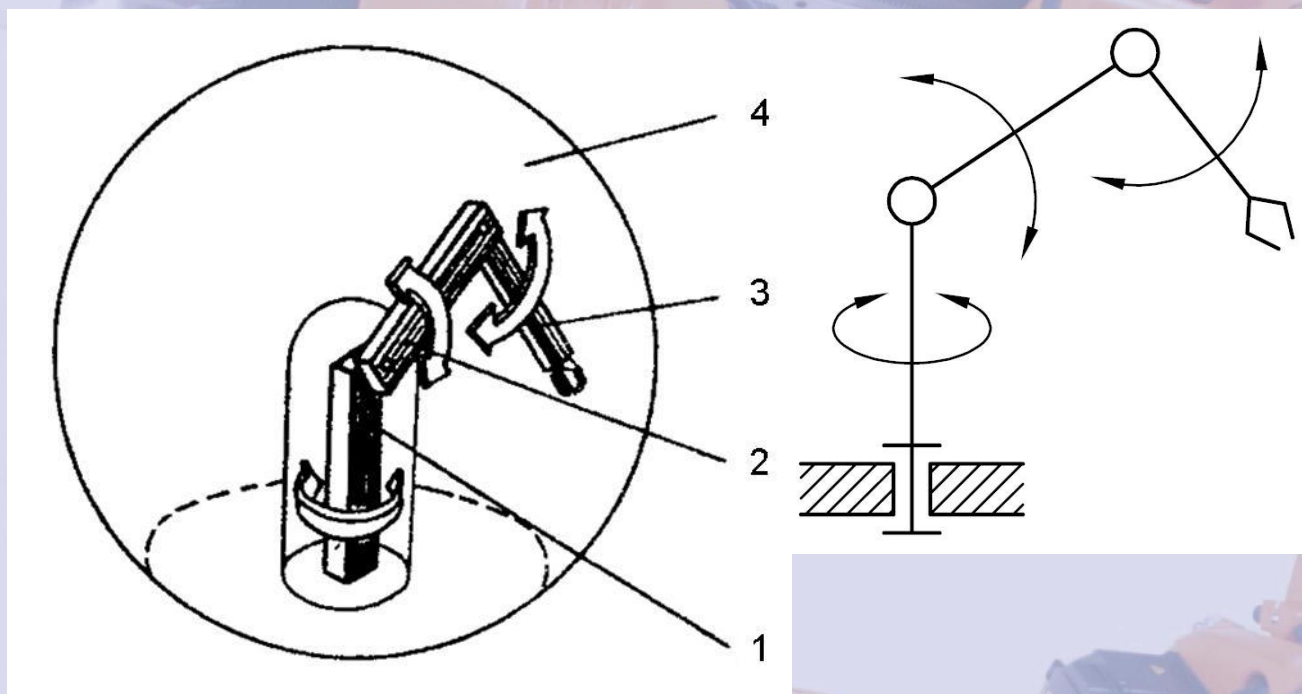
**Примеры применения:** «Универсал-15»; «Универсал-60»; ПР-35; Юнимейт.

### 3.1.4.4 Угловая (ангулярная) система координат

**Недостатки:**

- довольно сложна и громоздка для реализации и программирования;
- требует для своего управления более сложные устройства;
- в связи с пониженной жесткостью нужны специальные меры для повышения точности манипулирования.

### 3.1 Манипуляционная система (3.1.4 Базовая система координат)



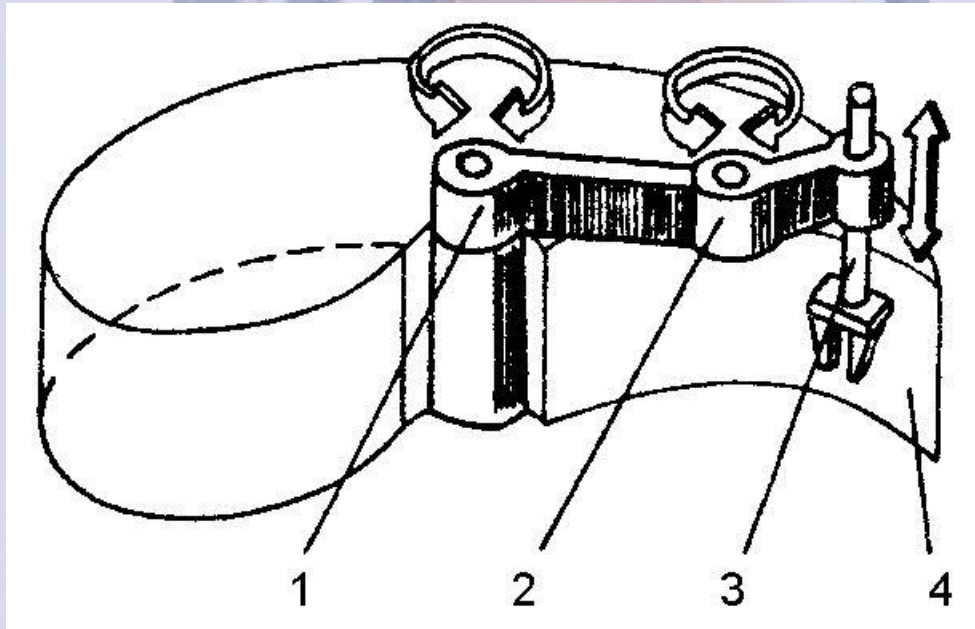
#### ***Достоинства:***

- высокая универсальность;
- наибольший объем обслуживаемой рабочей зоны;
- хорошо komponуется в цехе;
- позволяет минимизировать размеры производственных площадей, необходимых для размещения роботов.

***Примеры применения:*** «Колер»; «Контур»; ТУР-10; «Пума-Юнимейт».

## 3.1 Манипуляционная система (3.1.4 Базовая система координат)

### 3.1.4.5 Ангулярная цилиндрическая (сложная цилиндрическая) система координат



корпус);

кости звено;  
тикально

сложный

Это принципиально новая конфигурация манипулятора ПР, созданная в Японии учеными университета Яманаси, появилась впервые в 1981 г. и получила название «SCARA» (Selective Compliance Assemble Robot Arm – рука сборочного робота с избирательной податливостью).

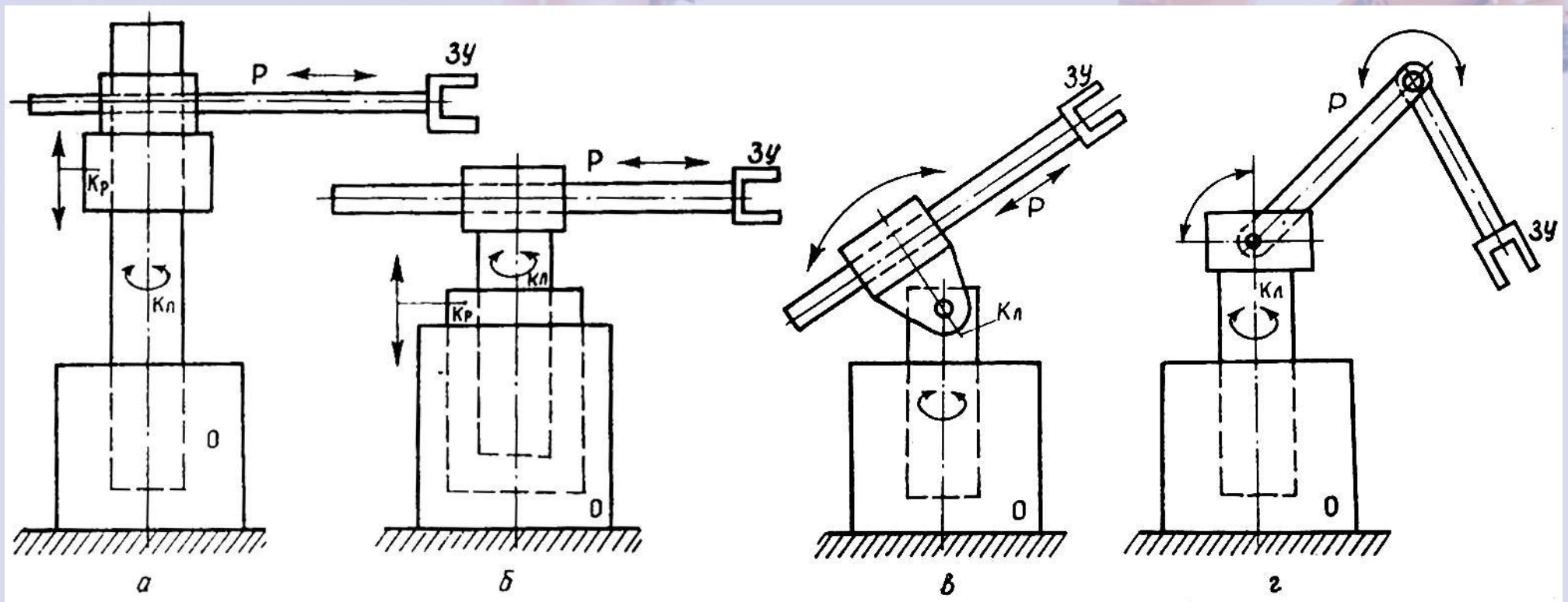
#### **Достоинства:**

- роботы типа «SCARA» могут нести значительно более высокие полезные нагрузки, чем другие сборочные роботы;
- весьма удобны для выполнения сборочных операций.



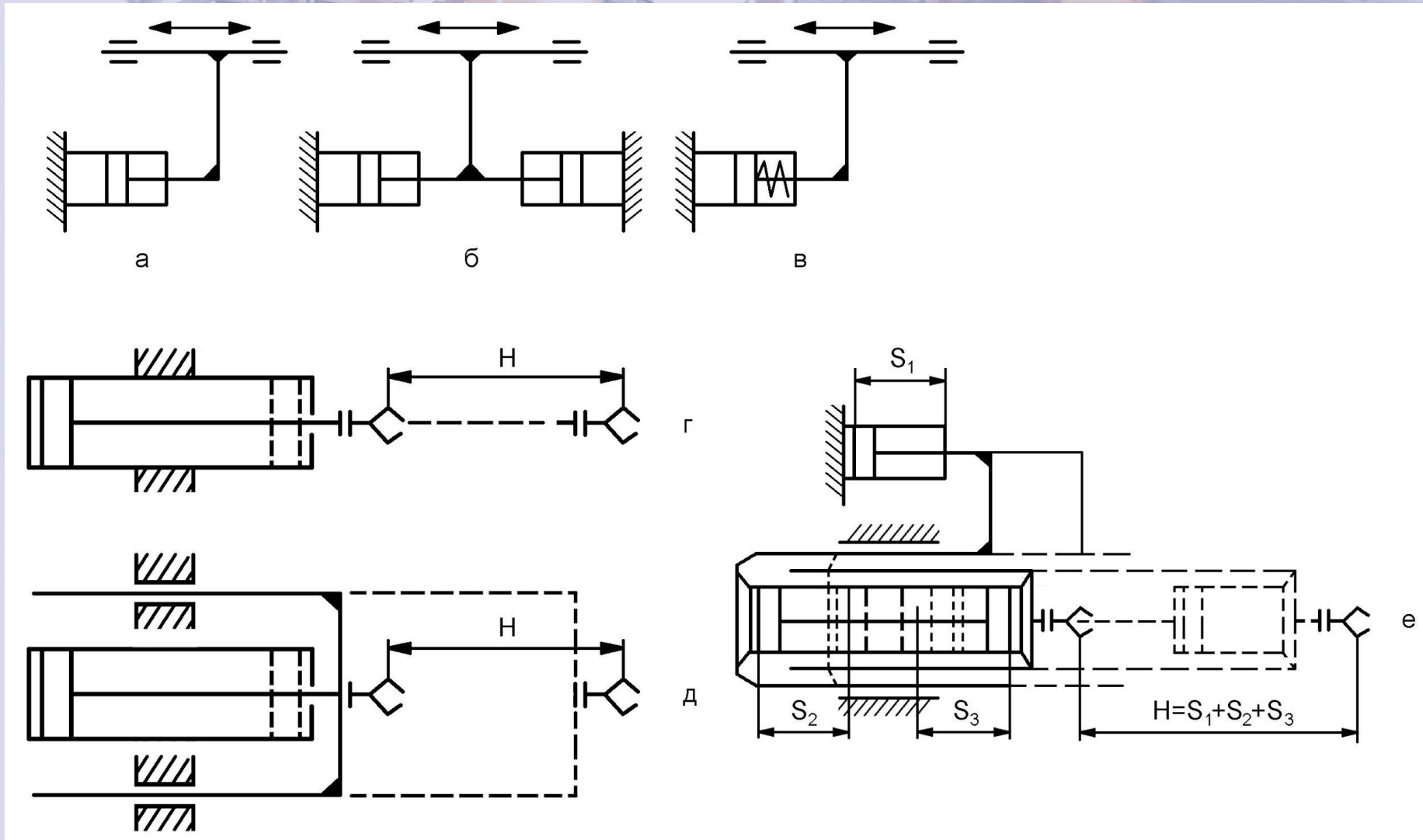
### 3.1.5 Конструктивные схемы основных узлов манипулятора

**УЗЕЛ** – это конструктивно законченная сборочная единица, имеющая сравнительно узкое функциональное назначение. Узел может включать в себя, помимо несущих и кинематических элементов, также исполнительную часть силового привода, передаточные механизмы и различные дополнительные устройства.



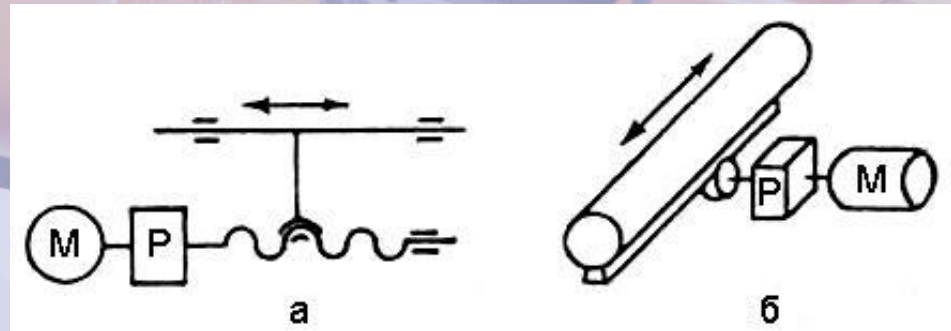
Блок-схемы расположения основных узлов манипуляторов  
О – основание; Кр – каретка; Кл – колонна; Р – рука; ЗУ - захват

3.1.6 Конструктивные схемы устройств для обеспечения прямолинейного движения

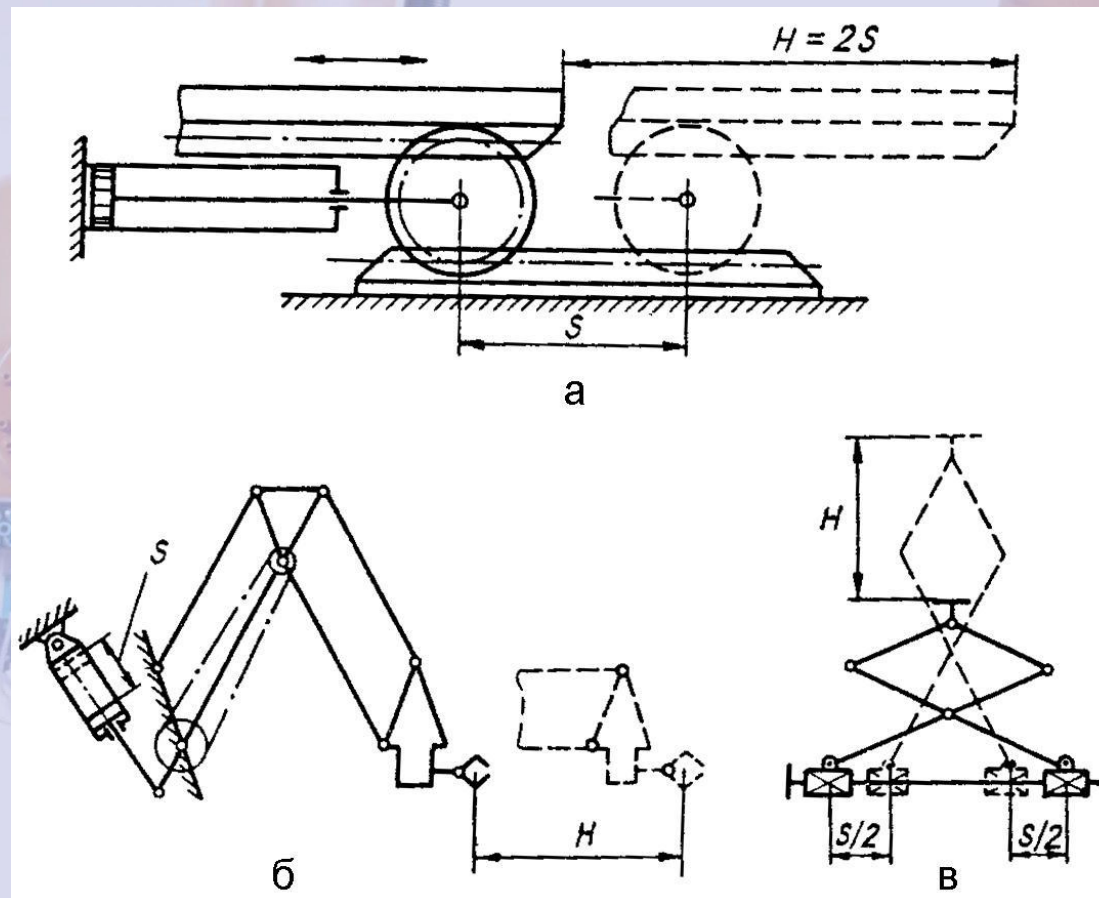


Конструктивные схемы устройств для обеспечения прямолинейного движения с использованием силовых гидроцилиндров

### 3.1 Манипуляционная система (3.1.6 Схемы для прямолинейного движения)

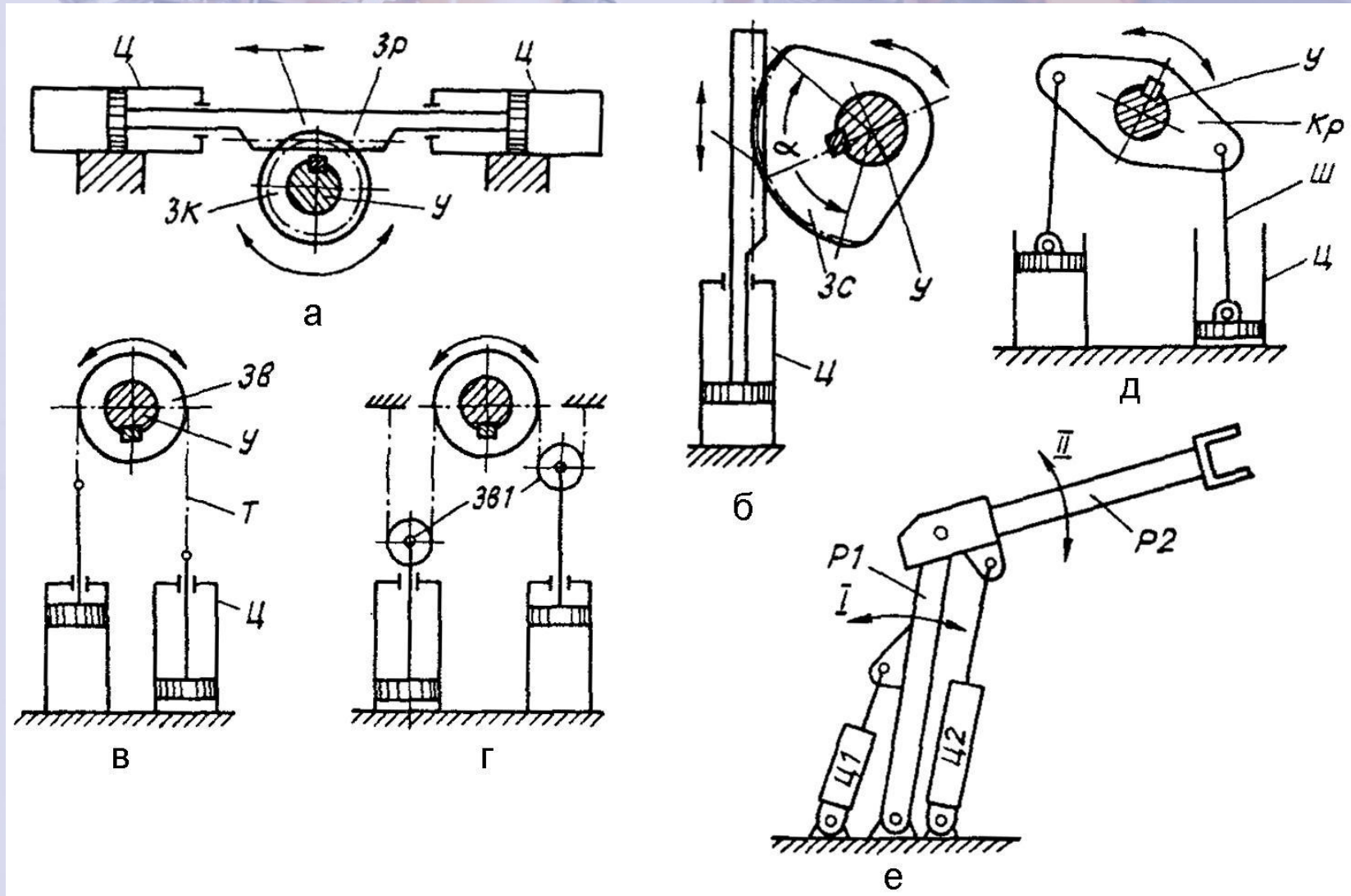


Схемы устройств для создания прямолинейного движения: а - винтового; б – реечного



Комбинированные схемы устройств для обеспечения прямолинейного движения

3.1.7 Конструктивные схемы устройств для обеспечения вращательного движения



Конструктивные схемы устройств для обеспечения вращательного движения звеньев манипулятора с использованием пневмо- и гидроцилиндров

### 3.1 Манипуляционная система (3.1.7 Схемы для вращательного движения)

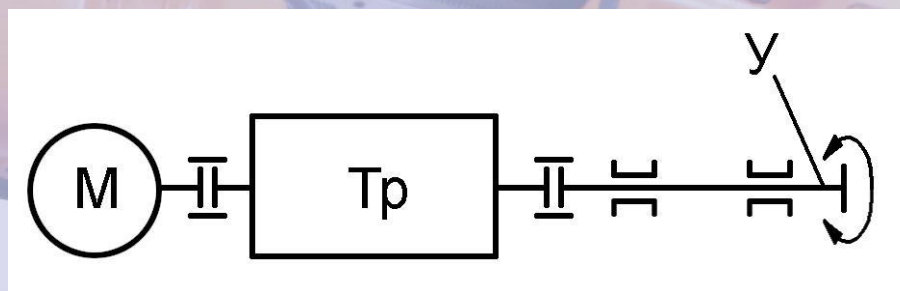


Схема устройств для создания вращательного движения от мотора через трансмиссию

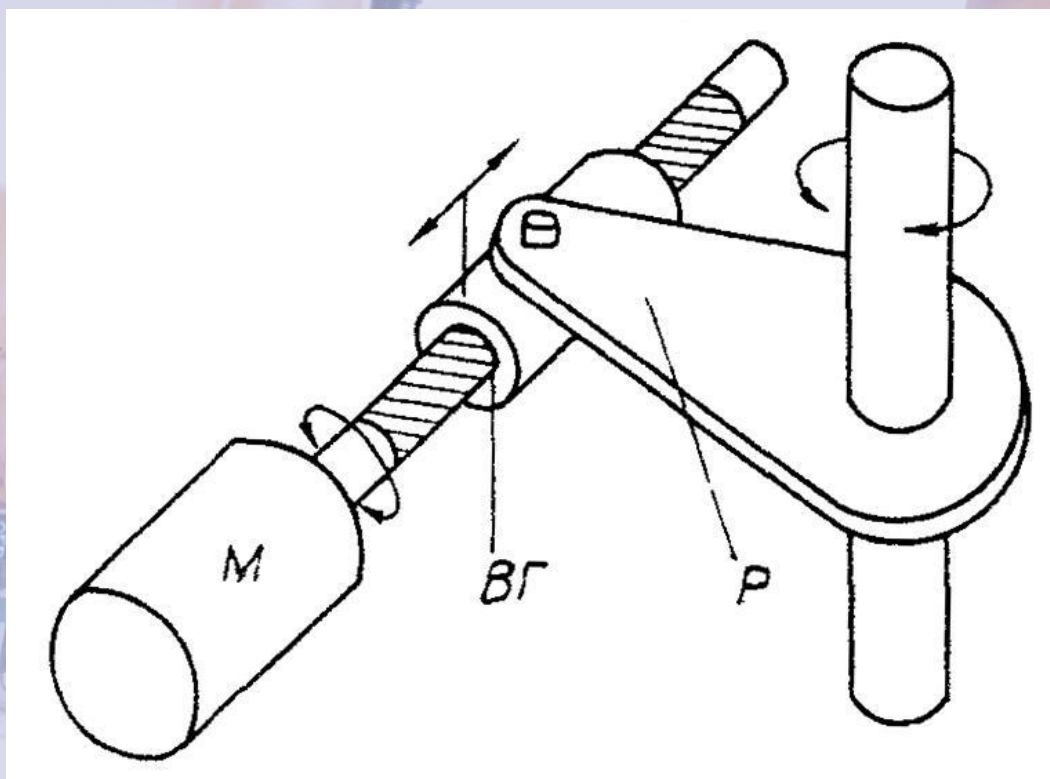
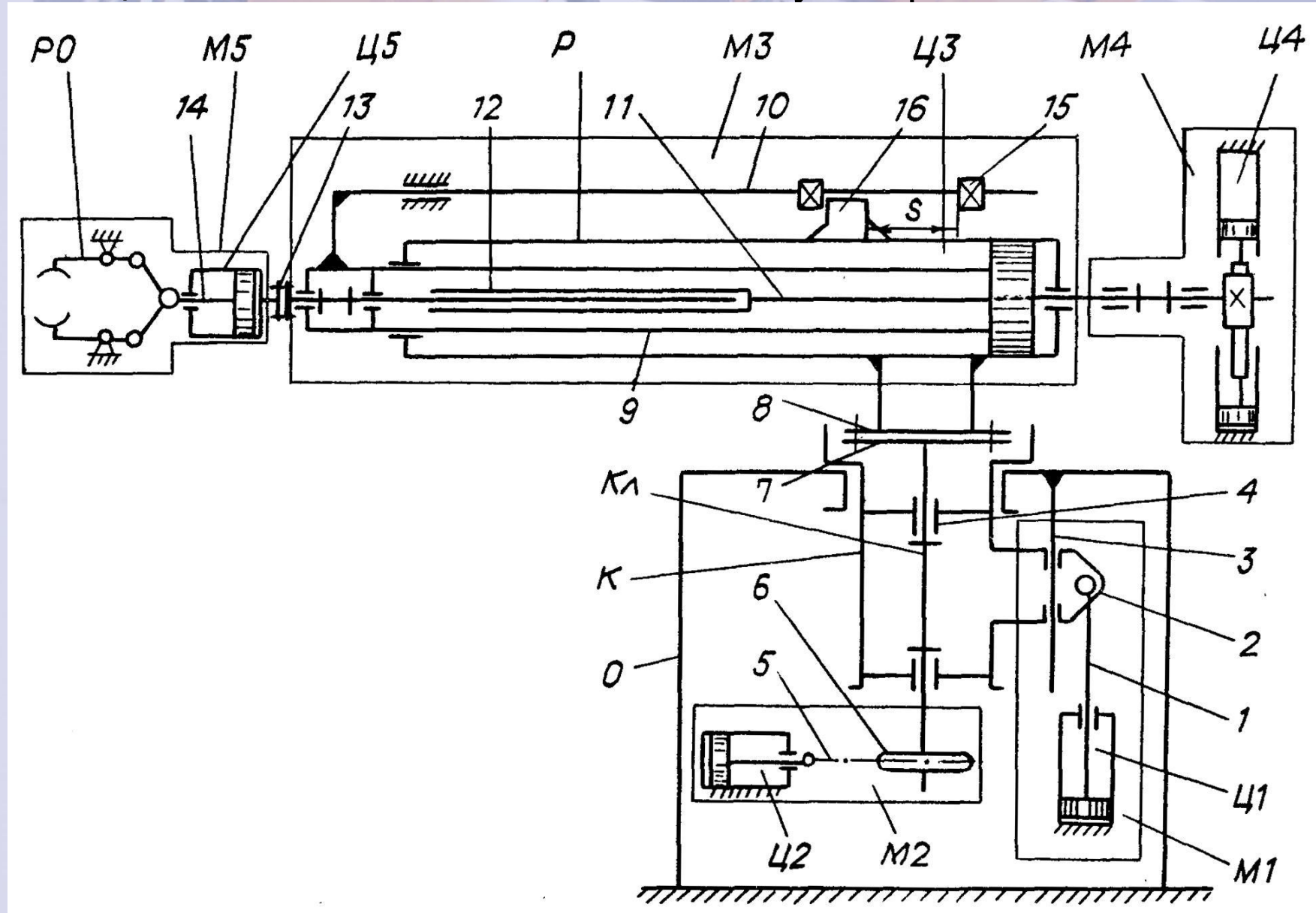


Схема устройств для создания вращательного движения с использованием пары «винт-гайка» и рычага

3.1.8 Общая кинематическая схема манипулятора

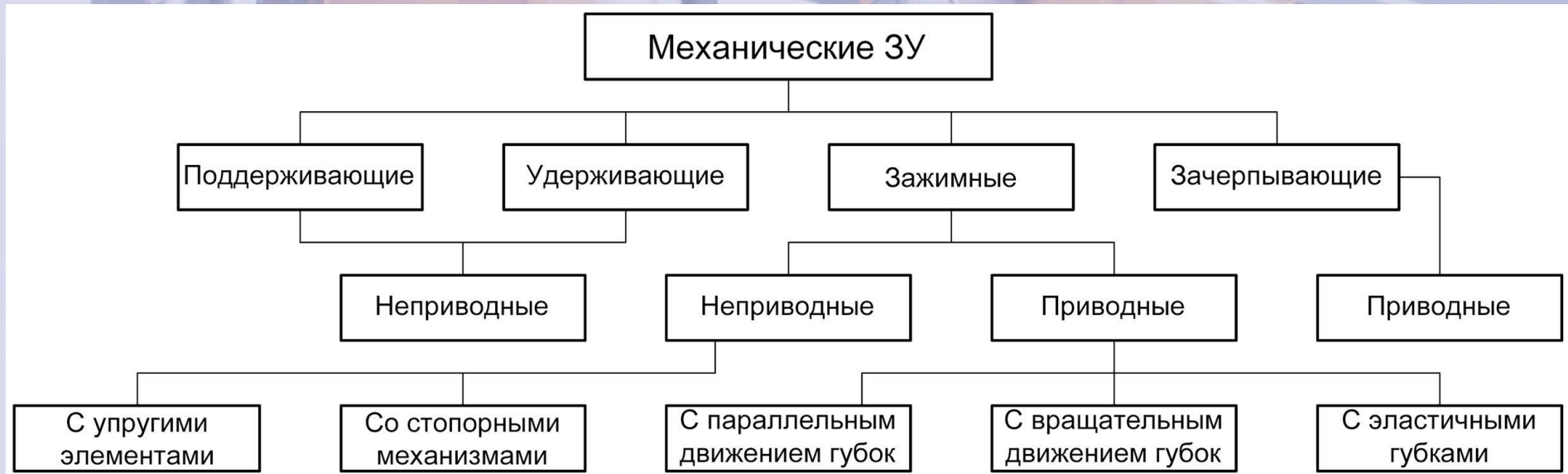


# 3.2 Рабочие органы

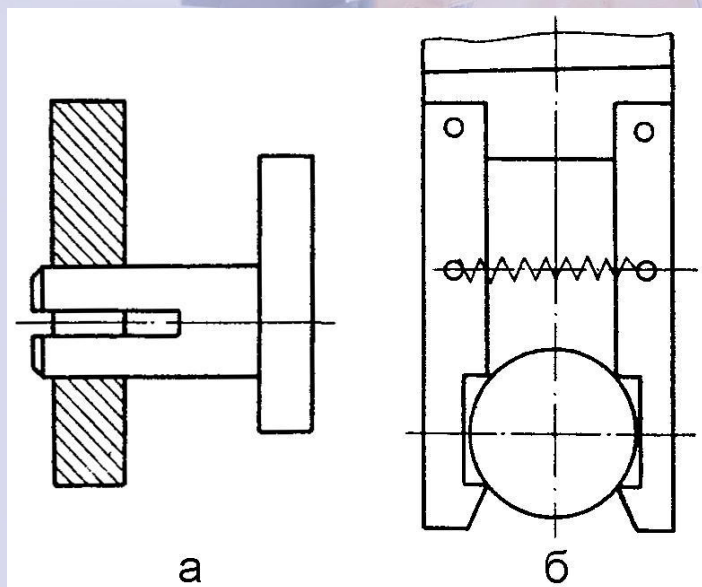
## 3.2.1 Классификация захватных устройств



3.2.2 Механические ЗУ



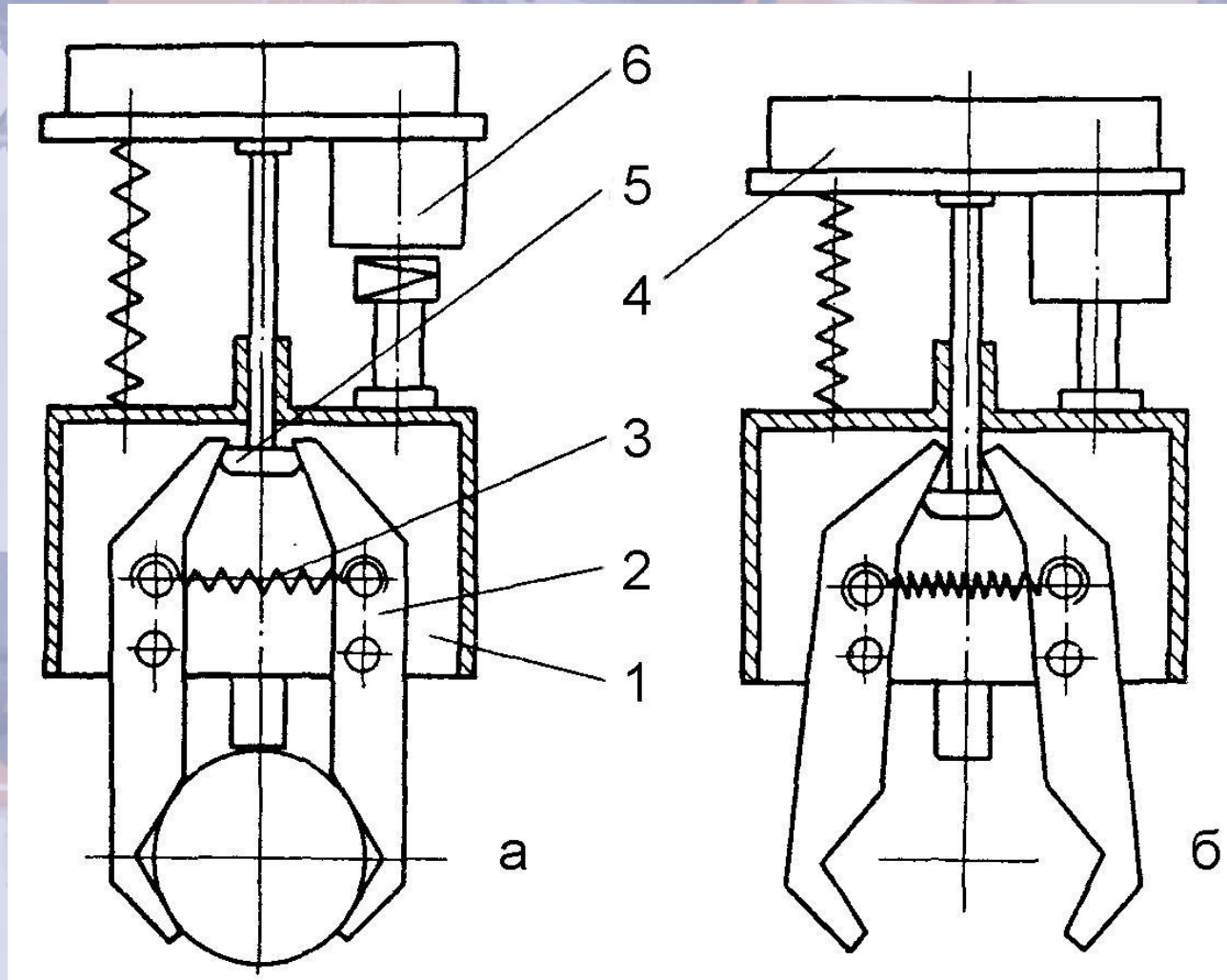
Классификация механических ЗУ



Приводные захватные  
с упругими элементами:  
- клещевое



### 3.2 Рабочие органы (3.2.2 Механические ЗУ)

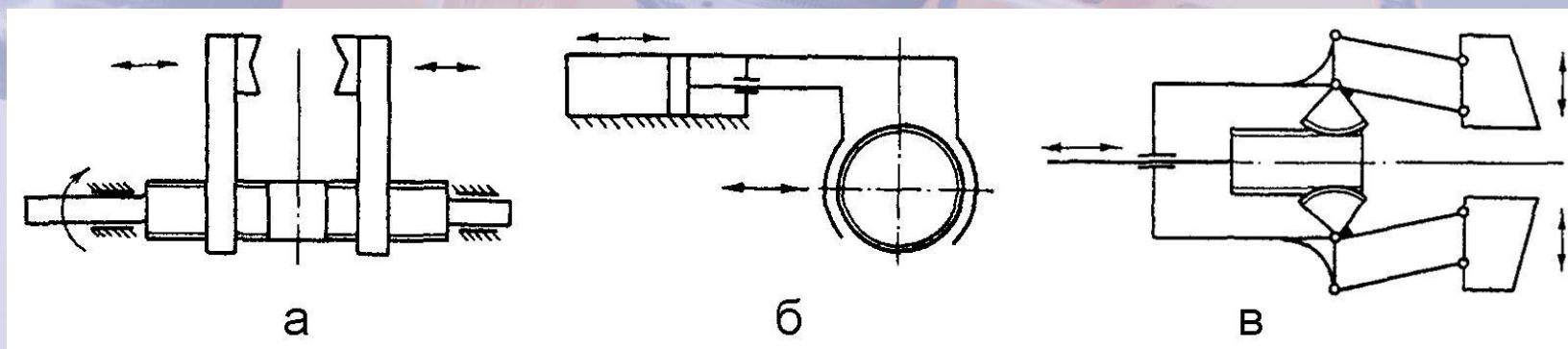


Механическое неприводное захватное устройство со стопорным механизмом:

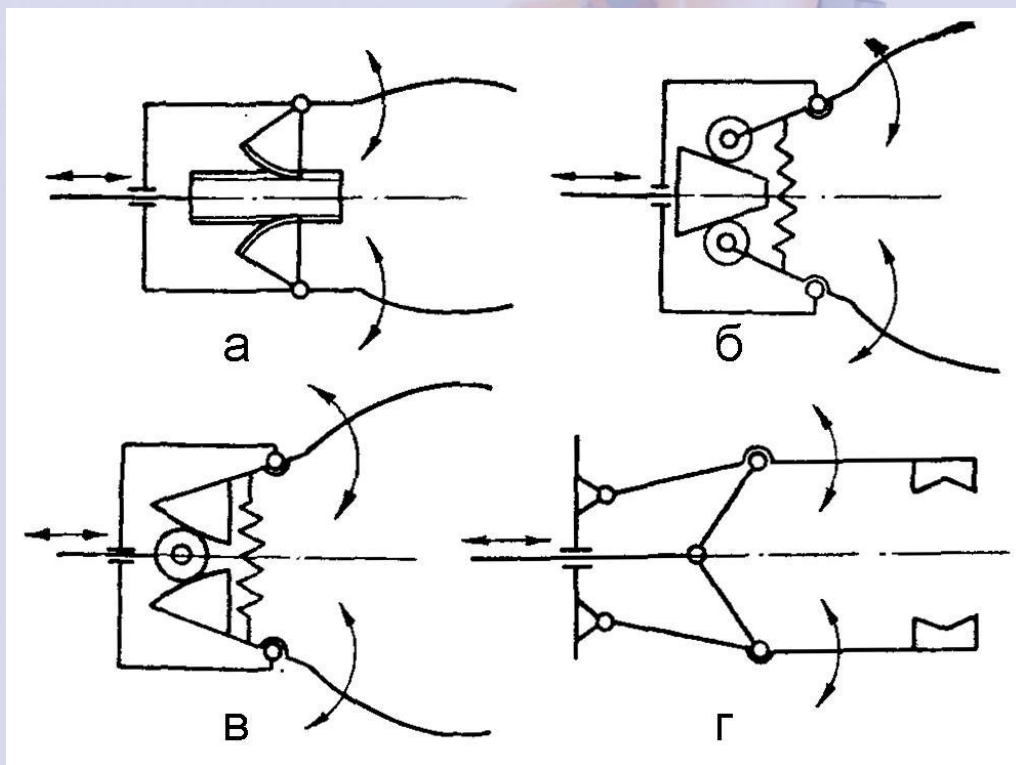
а – закрытое; б – раскрытое положение

1 – подвижный корпус; 2 – губки; 3 – пружина; 4 – корпус; 5 – направляющий шток с разжимной головкой; 6 – стопорный механизм

### 3.2 Рабочие органы (3.2.2 Механические ЗУ)

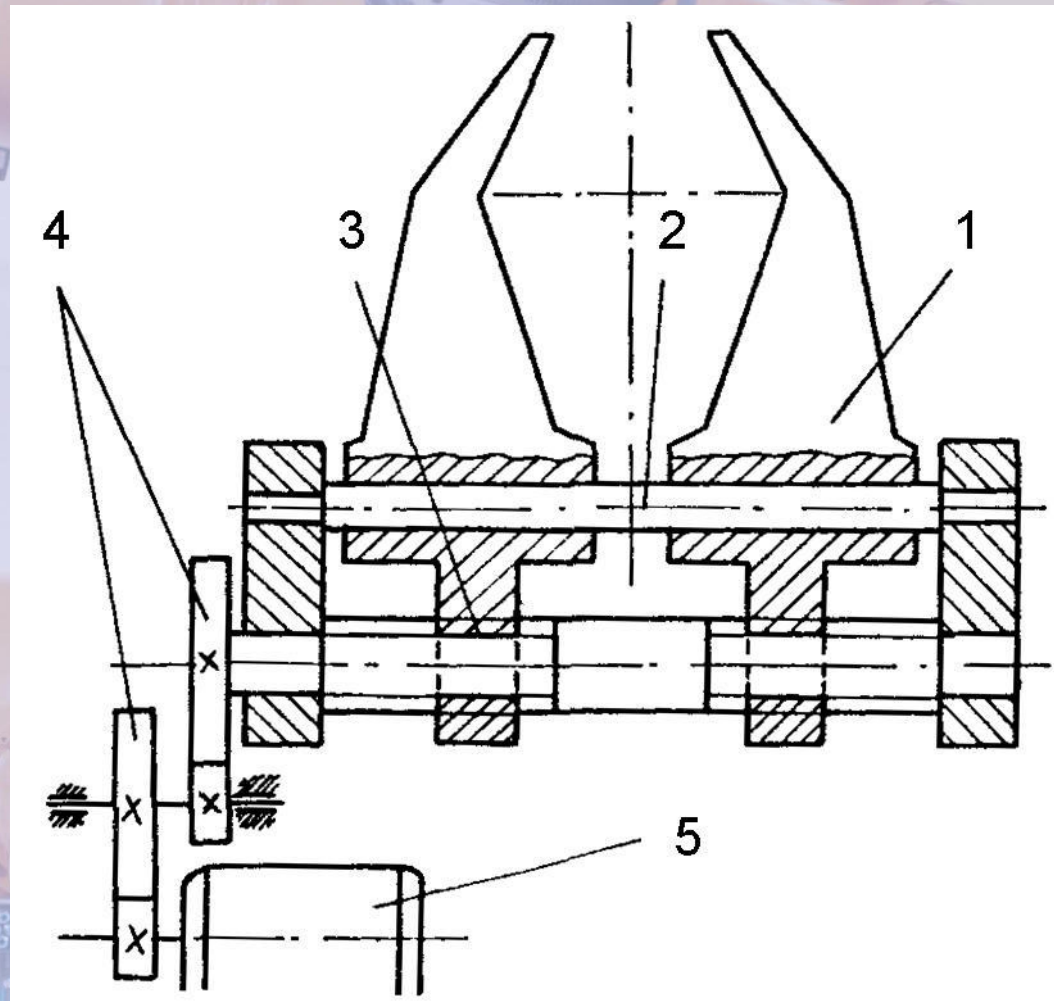


Кинематические схемы захватных устройств с плоскопараллельным движением губок: а – винтовое; б – с поступательным движением одной губки; в – с параллелограммным устройством



захватных  
ным движением

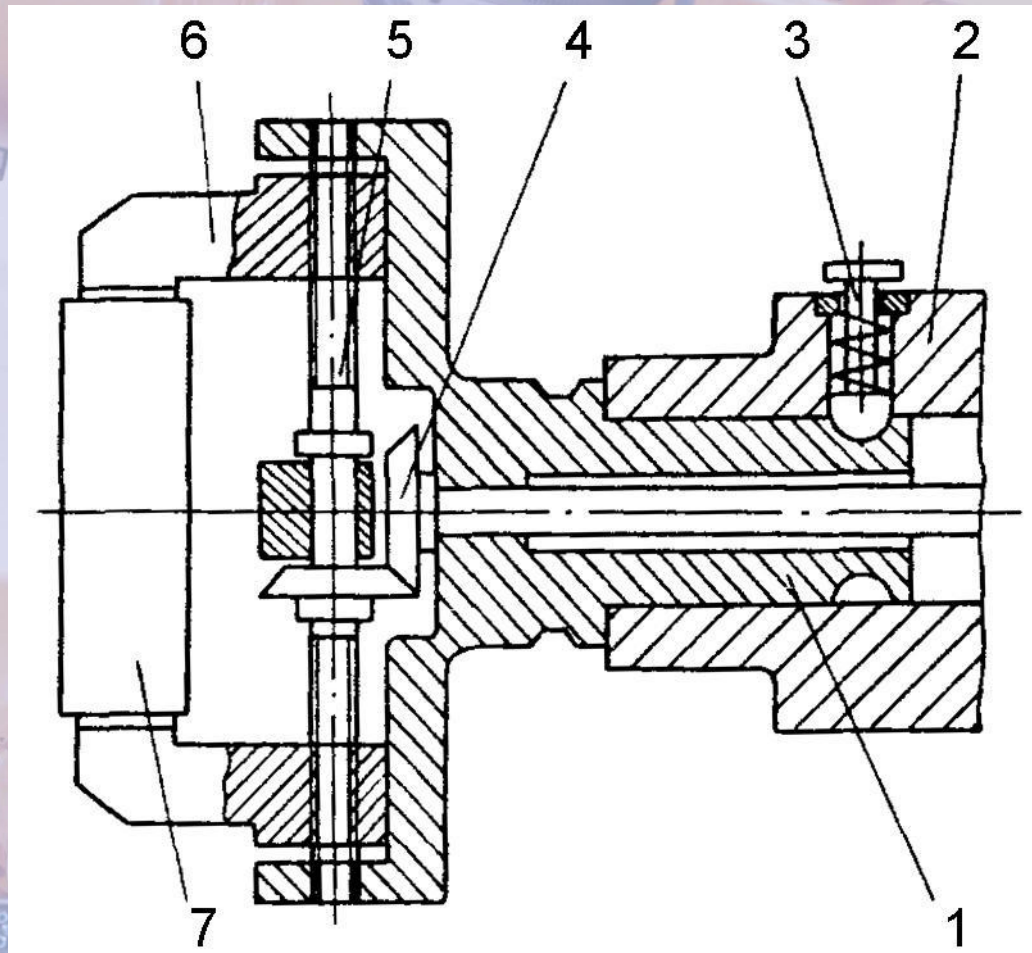
### 3.2 Рабочие органы (3.2.2 Механические ЗУ)



Механическое приводное захватное устройство с плоскопараллельным движением губок и электроприводом

1 – губки; 2 – направляющий шток; 3 – передача винт-гайка; 4 - цилиндрическая зубчатая передача; 5 – электродвигатель

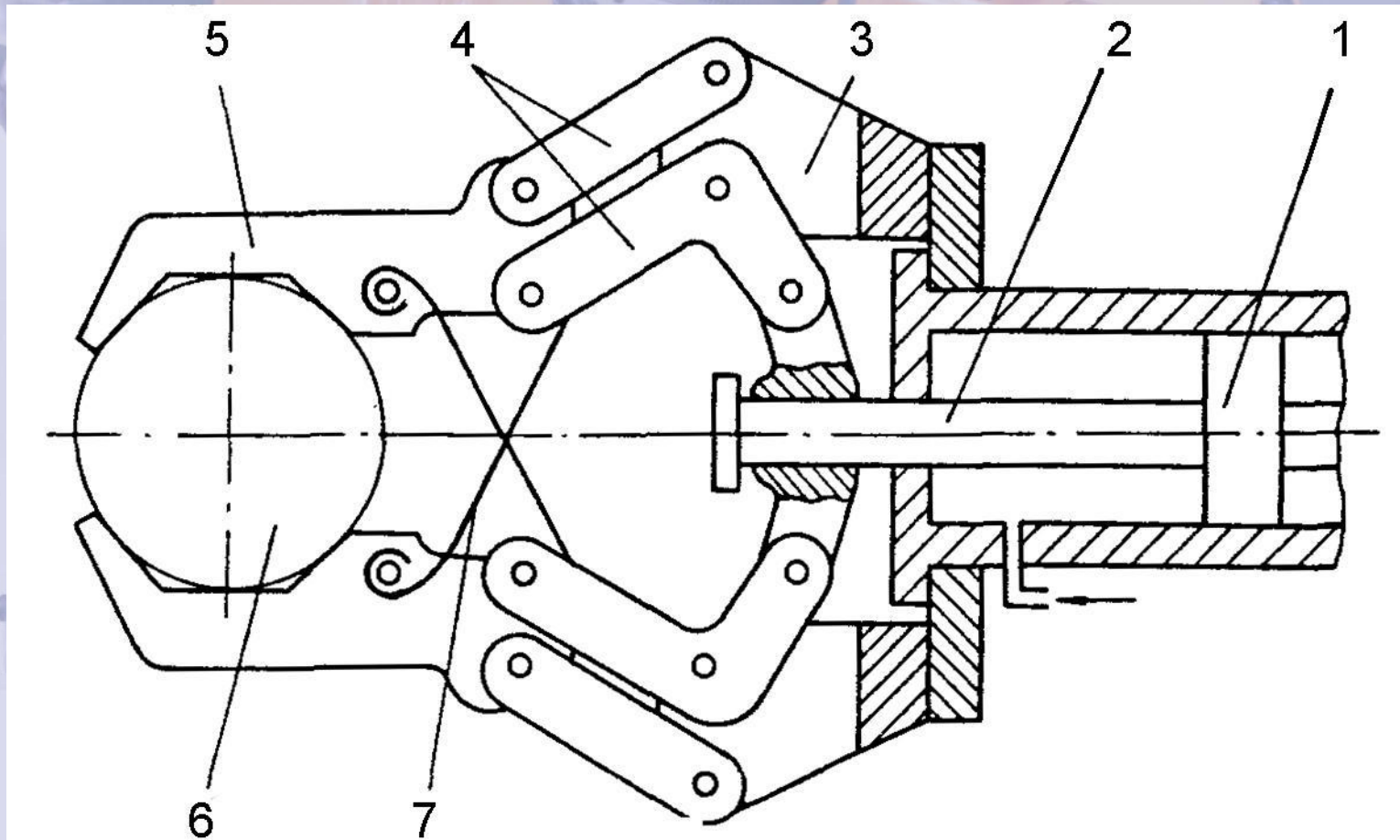
### 3.2 Рабочие органы (3.2.2 Механические ЗУ)



Механическое приводное захватное устройство с плоскопараллельным движением губок с конической зубчатой и винтовой передачами

1 – корпус; 2 – «рука» робота; 3 – фиксирующее устройство; 4 – приводная коническая передача; 5 – винт с разнонаправленной ходовой резьбой; 6 – губки; 7 – деталь

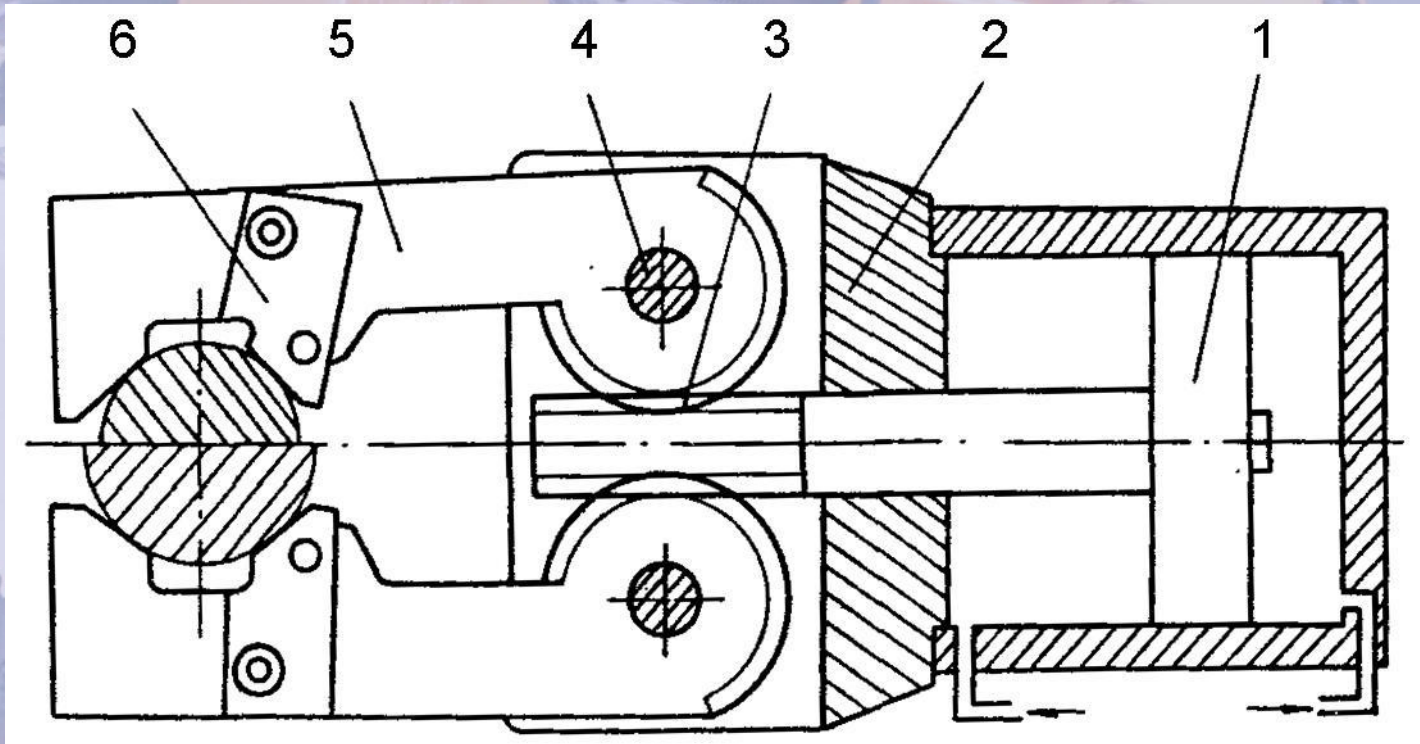
### 3.2 Рабочие органы (3.2.2 Механические ЗУ)



Механическое приводное захватное устройство с плоскопараллельным движением губок с параллелограммным механизмом

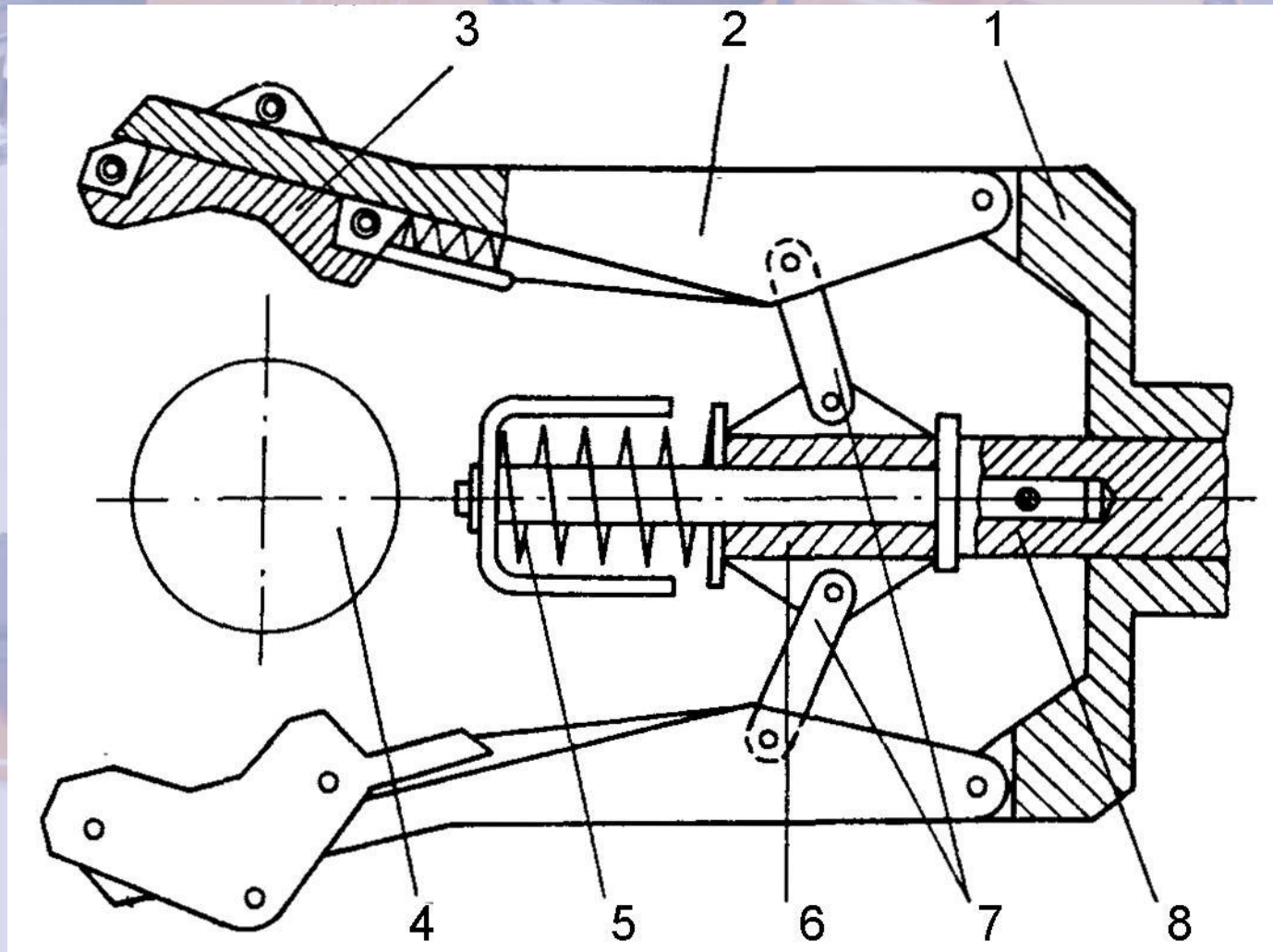
1 – привод поступательного движения; 2 – исполнительный шток; 3 – корпус;  
4 – параллелограммное устройство; 5 – губки; 6 – деталь; 7 – возвратные пружины

### 3.2 Рабочие органы (3.2.2 Механические ЗУ)



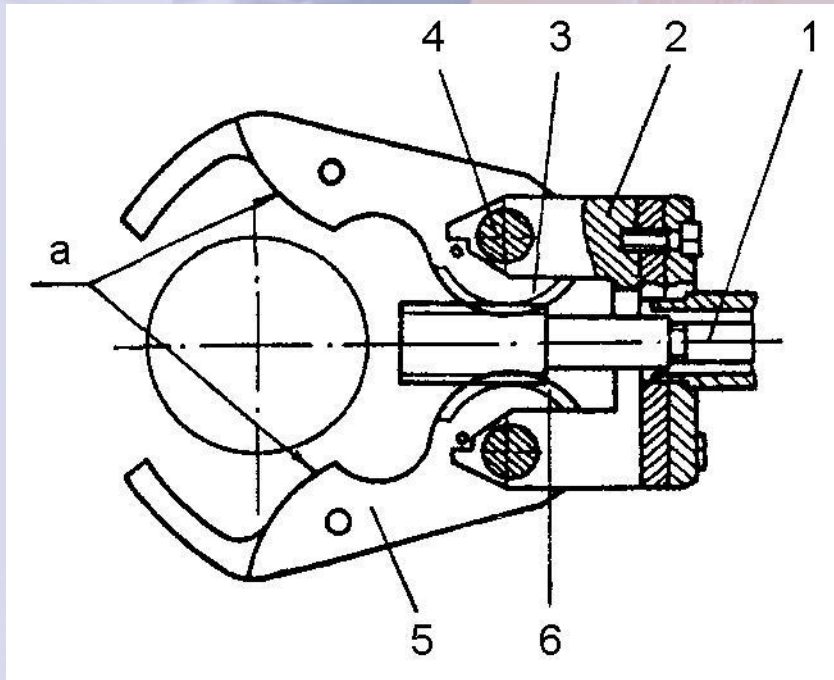
Механическое приводное захватное устройство с вращательным движением губок  
1 – привод поступательного движения; 2 – корпус схвата; 3 – реечная передача;  
4 – шарниры; 5 – корпус губок; 6 – подпружиненные сменные призмы

### 3.2 Рабочие органы (3.2.2 Механические ЗУ)

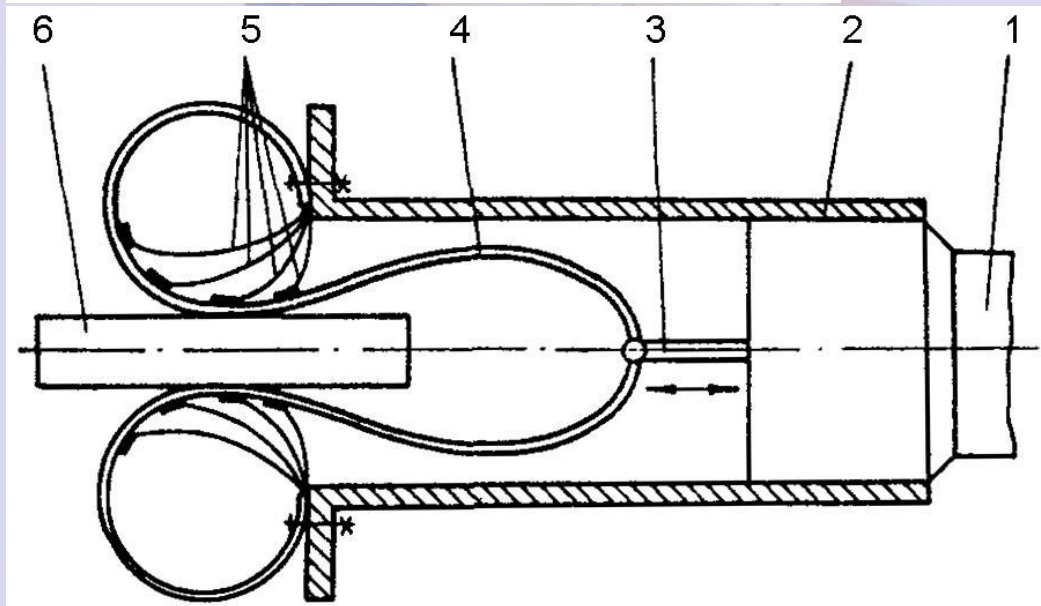


Механическое приводное захватное устройство с вращательным движением губок  
1 – корпус; 2 – губки; 3 – захватные призмы; 4 – деталь; 5 – смягчающая пружина;  
6 – ползун; 7 – рычаги; 8 – шток привода

## 3.2 Рабочие органы (3.2.2 Механические ЗУ)



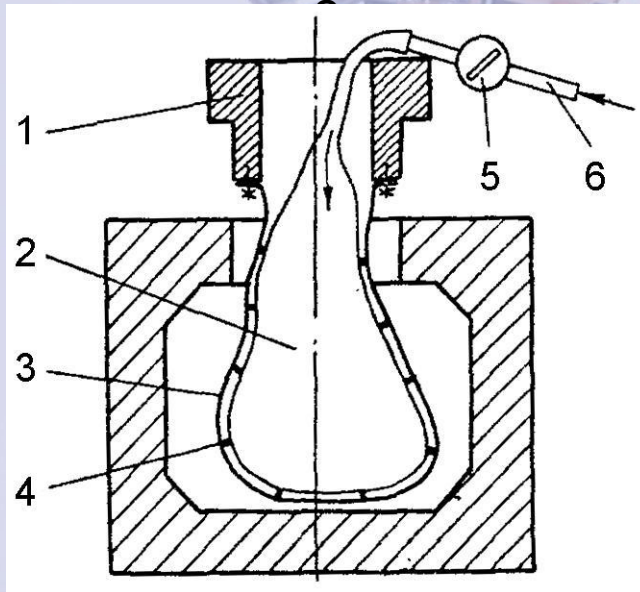
1 – захватное устройство  
с губками  
2 – захватные призмы;  
3 – упругая пружина;  
4 – шток привода



1 – захватное  
устройство  
с губками  
2 – захватные  
призмы;  
3 – упругая  
пружина;  
4 – шток привода

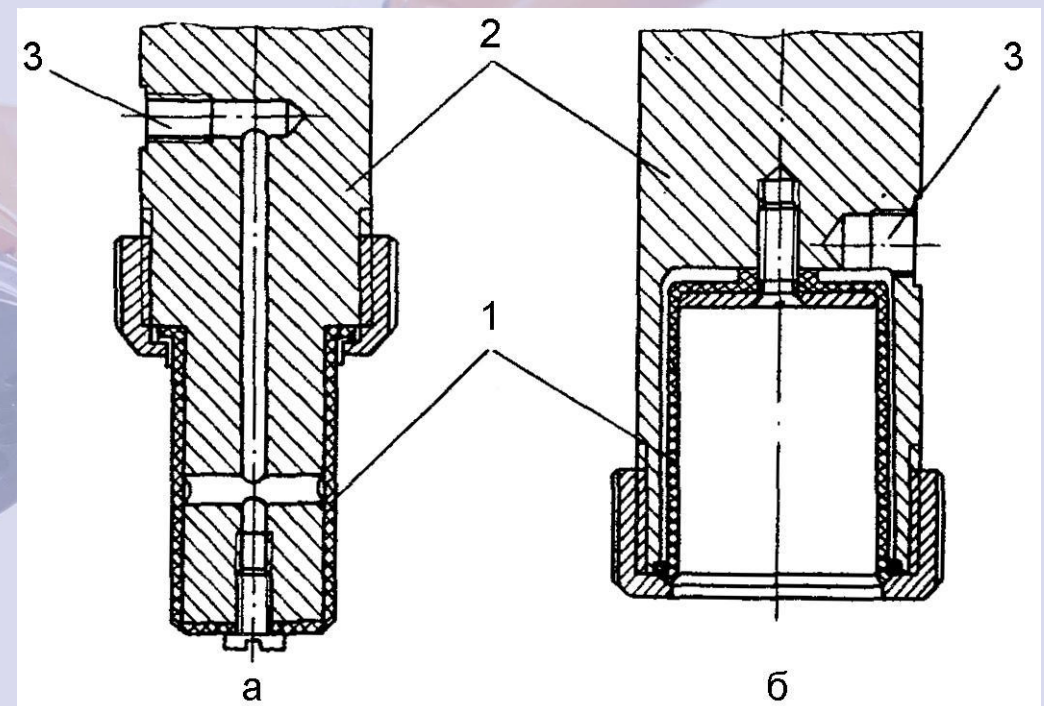


### 3.2.3 ЗУ с эластичными камерами

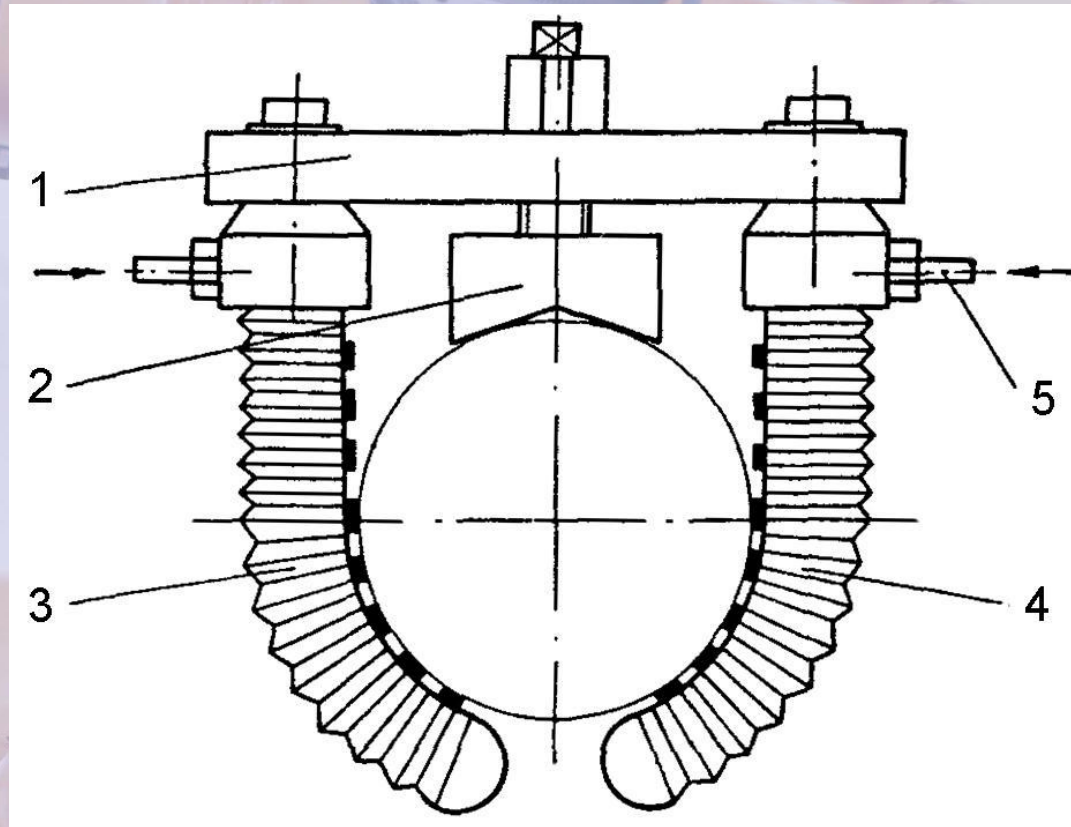


1 – корпус; 2 – эластичная камера; 3 – эластичная чашка; 4 – упорный элемент; 5 – трубопровод; 6 – обратный клапан

Центрирующие ЗУ с эластичными камерами:  
Расширяющимися камерами:  
а – для захватывания за внутреннюю поверхность;  
б – для захватывания за внешнюю поверхность  
1 – камера из эластичного материала;  
2 – корпус; 3 – отверстия для подачи воздуха или жидкости



### 3.2 Рабочие органы (3.2.3 ЗУ с эластичными камерами)



Захватное устройство с изгибающимися эластичными камерами  
1 – корпус; 2 – базирующая призма; 3, 4 – эластичные камеры;  
5 – трубопровод с пневмосистемой

### 3.2.4 Вакуумные ЗУ

**ВАКУУМНЫЕ ЗУ** используются преимущественно для переноса деталей с плоскими ровными поверхностями и конструктивно выполняются в виде камер-присосов, в которых создается разрежение. Захватывание и удержание объектов обеспечиваются силой атмосферного давления воздуха за счет создания в камере, прижатой к поверхности детали, вакуума.

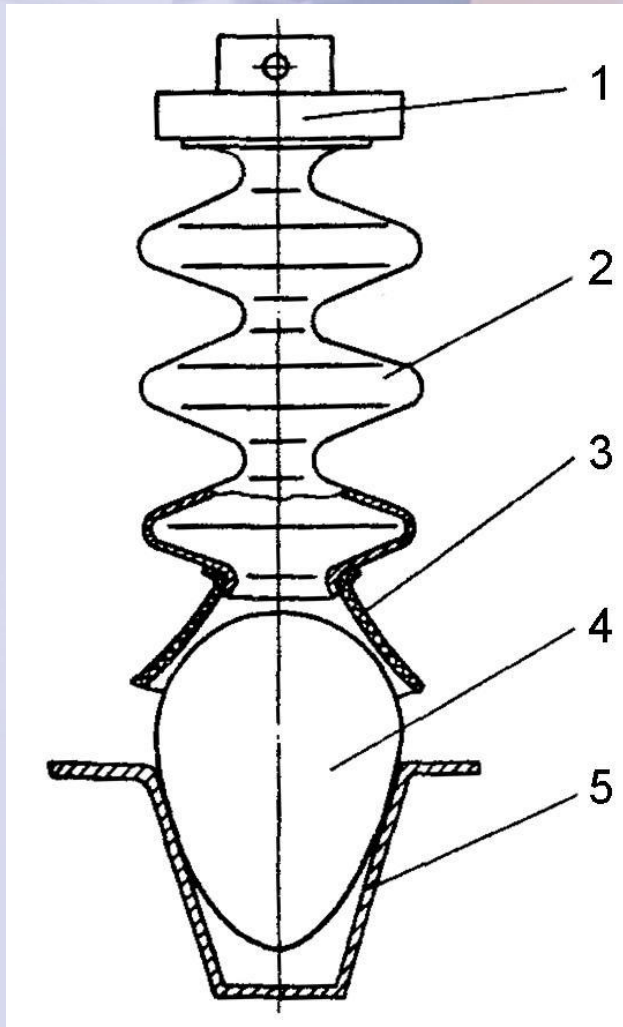
#### ***Достоинства:***

- удобство захватывания и освобождения деталей;
- сохранение точных и хорошо обработанных поверхностей;
- универсальность по сравнению с магнитными ЗУ, т.е. возможность удержания объектов из материалов с любыми физическими свойствами.

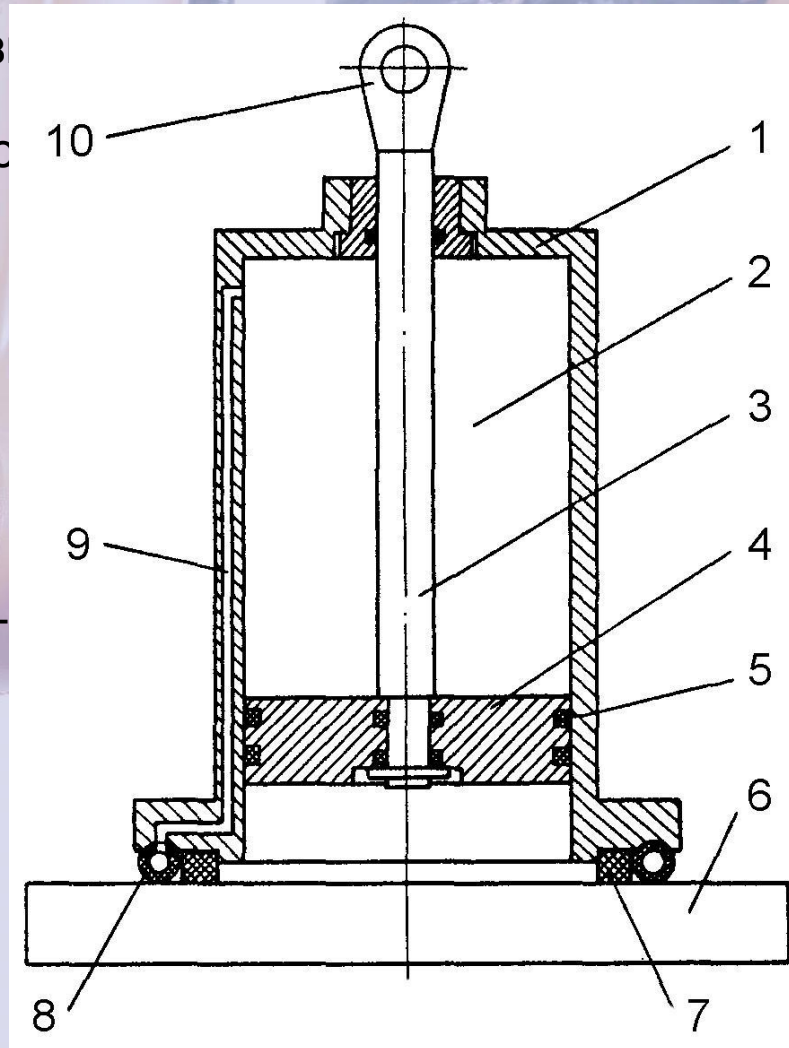
#### ***Недостатки:***

- ограниченная подъемная сила;
- пониженная точность базирования из-за эластичности камер;
- инерционность, связанная с некоторой длительностью обеспечения необходимого вакуума;
- довольно сложная конструкция для вакуумирования;
- необходимость обеспечения герметичности соединений и самого захватного устройства.

### 3.2 Рабочие органы (3.2.4 Вакуумные ЗУ)



1 – фиксированная упругая труба;  
2 – эластичная горловина;  
3 – корпус; 4 – цилиндры;  
5 – ячейка



вакуумное

корпус; 2 –  
цилиндра;

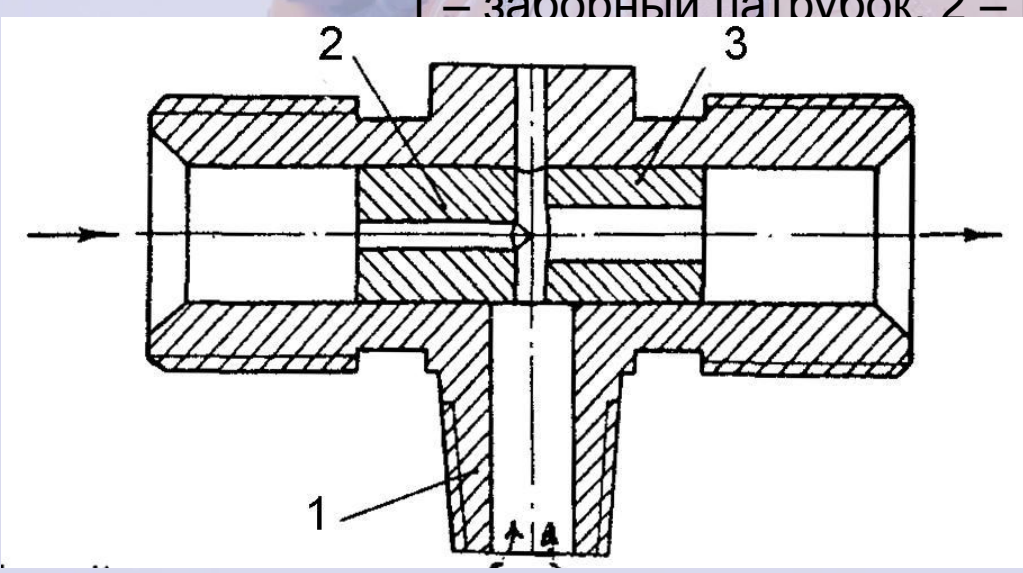
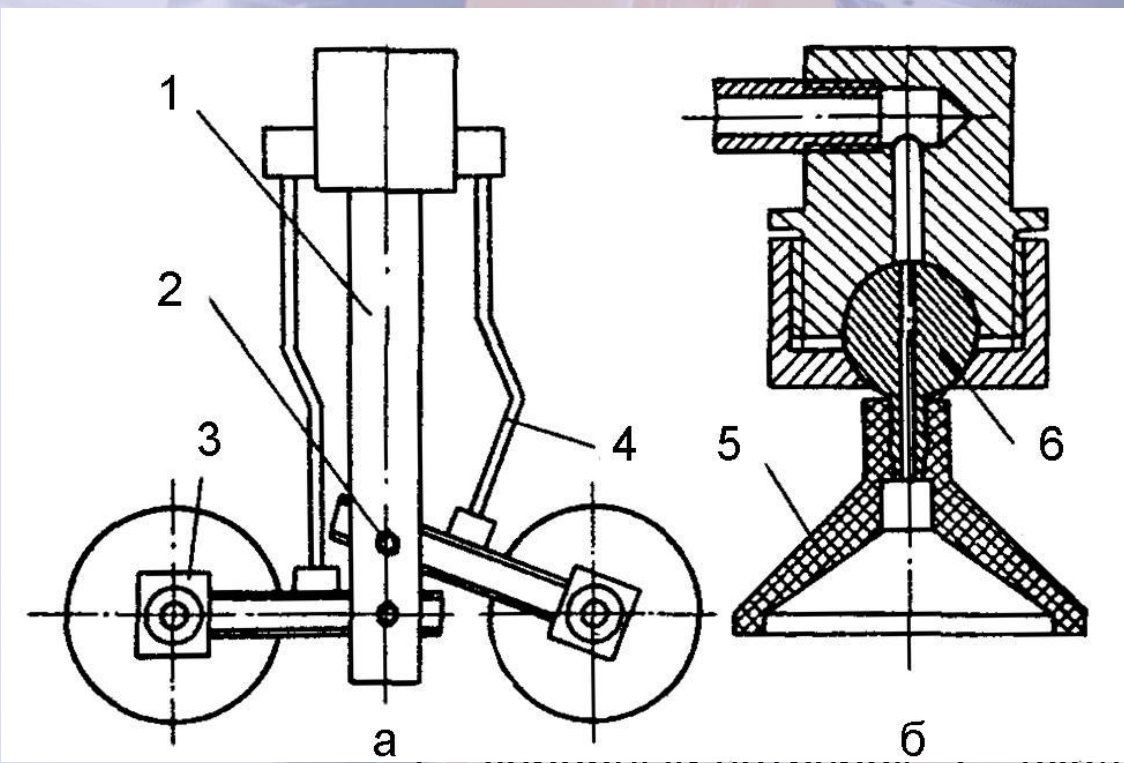
уплотнения; 6

ое  
ое эластичное

### 3.2 Рабочие органы (3.2.4 Вакуумные ЗУ)

устройство: а –  
ная камера  
соединение; 3  
ы; 4 - трубопроводы; 5 –

во  
патрубок; 3



1 – заборный патрубок; 2 – входной

### 3.2.4 Магнитные ЗУ

**МАГНИТНЫЕ ЗУ** используются для переноса деталей из ферромагнитных материалов. Захватывание и удержание объектов обеспечиваются электромагнитной силой, создаваемой либо постоянными, либо электрическими магнитами.

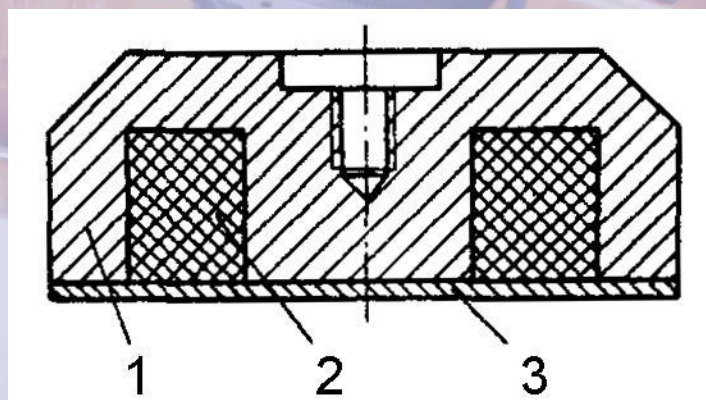
#### ***Достоинства:***

- обладают большой силой притяжения на единицу площади;
- высокая точность позиционирования за счет жесткости сердечника;
- быстрота захватывания и освобождения деталей;
- простая конструкция.

#### ***Недостатки:***

- ограниченность материалов деталей, с которыми они могут работать;
- нагревание конструкций от катушек;
- наличие остаточного магнетизма, что приводит к загрязнению поверхности детали и захватного устройства.

## 3.2 Рабочие органы (3.2.4 Магнитные ЗУ)



Магнитное захватное устройство

1 – корпус; 2 – электрические катушки; 3 – лист марганцовистой стали или латуни