

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДУ

Система автоматического управления объектом предназначена для изменения по заданной программе или поддержания на определенном уровне какого-либо параметра этого объекта. Например, система автоматического управления пространственным положением рабочего органа (рулей самолета или судна) или система для поддержания температуры и т. п. Такая система состоит из нескольких взаимосвязанных устройств, охваченных цепями обратной связи (рис.1): задающего устройства ЗУ, управляющего устройства УУ и исполнительного устройства ИУ. Исполнительное устройство состоит из усилителя мощности $У$ и *электрического исполнительного механизма ЭИМ*. Управляющий электрический сигнал U_c , поступающий на вход исполнительного устройства, усиливается и подается на электрический исполнительный механизм ЭИМ, в котором он преобразуется в механическое перемещение регулирующего органа РО управляемого объекта.

Таким образом, функцию электропривода в системе автоматического управления выполняет *электрический исполнительный механизм*. Основным элементом электрического исполнительного механизма – преобразователь электрического сигнала в механическое перемещение. В качестве таких элементов применяют электромагниты и электродвигатели. Электромагниты (соленоиды) со втягивающимся якорем позволяют достаточно просто преобразовывать электрический сигнал в поступательное движение рабочего органа. Обычно исполнительные механизмы с электромагнитами работают в дискретном (релейном) режиме, перемещая регулирующий орган из одного крайнего положения в другое («открыто – закрыто»). Наибольшее применение в системах автоматического управления получили электродвигатели, обеспечивающие непрерывное (гибкое) управление регулирующим органом.

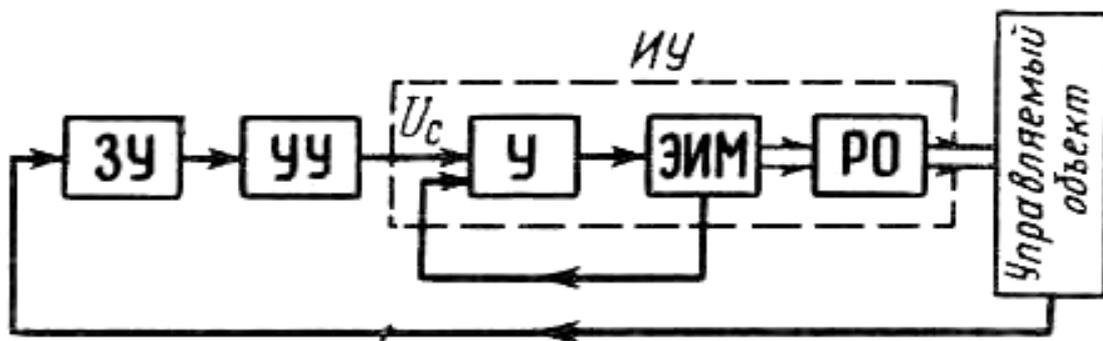


Рис.1. Структурная схема системы автоматического управления

Промышленный робот представляет собой систему автоматического управления, исполнительное устройство которого преобразует электрические управляющие сигналы в механическое перемещение какой-либо детали. При этом электромагнитный момент, развиваемый электродвигателем, через редуктор воздействует на механическую «руку» робота, называемую манипулятором.

Специфика работы электропривода в системах автоматического управления, включая промышленные роботы, состоит в том, что он практически всегда работает в

переходном режиме. Поэтому к электродвигателям исполнительных механизмов этих систем предъявляются повышенные требования к их динамическим свойствам.

В некоторых системах управления повышенной точности используют ЭИМ с малоинерционными исполнительными двигателями (асинхронные двигатели с полым немагнитным ротором, двигатели постоянного тока с печатным или гладким якорем и т. п.).

2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

Электрический исполнительный механизм – это силовой элемент системы автоматического управления, который перемещает регулирующий орган в соответствии с управляющими сигналами этой системы.

Регулирующие органы – это устройства, способные изменять режим работы регулируемого объекта. Примеры регулирующих органов: перемещаемые разного рода заслонки, вентили, клапаны и другие запорные и регулирующие элементы, способные изменять количество энергии или рабочего вещества, поступающего в объект управления. Механическое перемещение регулирующего органа может быть вращательным (в пределах одного или нескольких оборотов) или поступательным.

Электрический исполнительный механизм (рис. 2) состоит из электродвигателя **М**; тормозного устройства **ЭТ**; редуктора **Р**, понижающего частоту вращения, а в некоторых механизмах еще и преобразующего вращательное движение в поступательное; датчиков обратной связи **ДОС**; конечных выключателей **КВ**. Кроме того, ЭИМ имеет штурвал ручного управления **РУ**, позволяющий вручную устанавливать регулирующий орган **РО** в требуемое положение (при монтаже и регулировке ЭИМ). Положение регулирующего органа можно контролировать по указателю на корпусе ЭИМ, а также дистанционно с помощью прибора **П**, подключенного к датчику обратной связи **ДОС**. Помимо перечисленных ЭИМ могут содержать и другие элементы. Например, датчик обратной связи по скорости, в качестве которого обычно используются тахогенераторы.

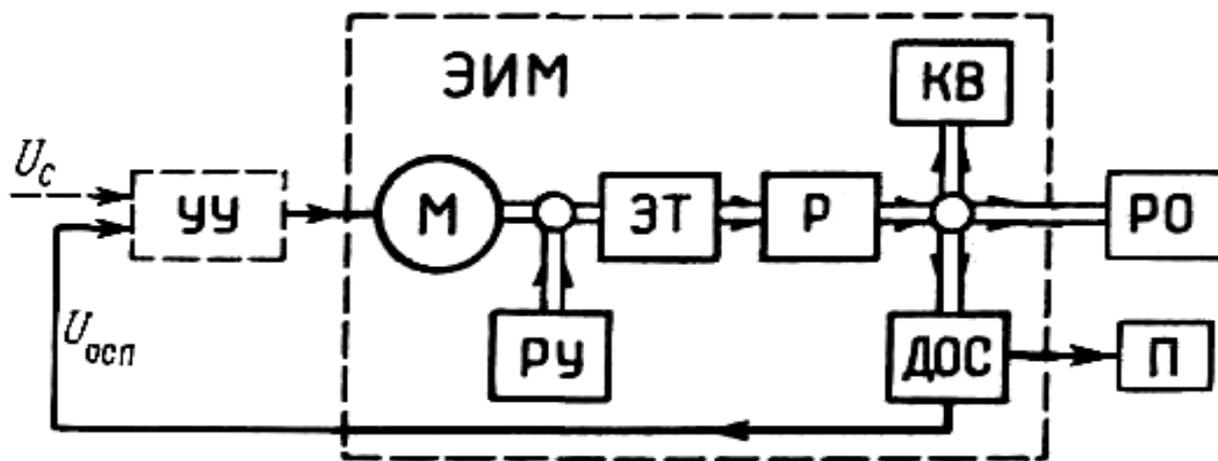


Рис. 14.2. Структурная схема электрического исполнительного механизма

Рассмотрим подробнее назначение некоторых элементов ЭИМ. **Электродвигатель** – основной элемент ЭИМ. Преимущественно в исполнительных механизмах используют асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором, так как они наиболее просты, дешевы и надежны по сравнению с двигателями других типов.

В зависимости от принципа работы управляющего устройства **УУ**, системы ав-

томатического управления (см. рис.1) ЭИМ разделяют на два вида: исполнительные механизмы постоянной и переменной скорости.

В исполнительных механизмах постоянной скорости частота вращения ротора двигателя неизменна, а величина механического перемещения регулирующего органа определяется продолжительностью импульса управляющего сигнала U_c . Такой режим работы позволяет применять в исполнительных механизмах трехфазные асинхронные двигатели общепромышленного назначения серий **АОЛ** или **4А** или же асинхронные конденсаторные двигатели. Эти двигатели имеют высокие энергетические показатели, надежны в эксплуатации, имеют минимальные габаритные размеры, массу и стоимость. Однако такие исполнительные механизмы не обеспечивают достаточно высокой точности регулирования.

В исполнительных механизмах переменной скорости частота вращения ротора двигателя регулируется величиной напряжения управляющего сигнала, и их применяют в системах автоматического управления, требующих высокой точности регулирования. Двигатель такого исполнительного механизма должен быть управляемым. В качестве таких двигателей используются исполнительные двигатели, частота вращения которых регулируется величиной напряжения, подводимого к обмотке управления (см. гл. 8). **Такие двигатели по сравнению с неуправляемыми** имеют большие габаритные размеры, массу и стоимость и худшие энергетические показатели. В системах автоматического управления общепромышленного назначения преимущественно применяются ЭИМ постоянной скорости.

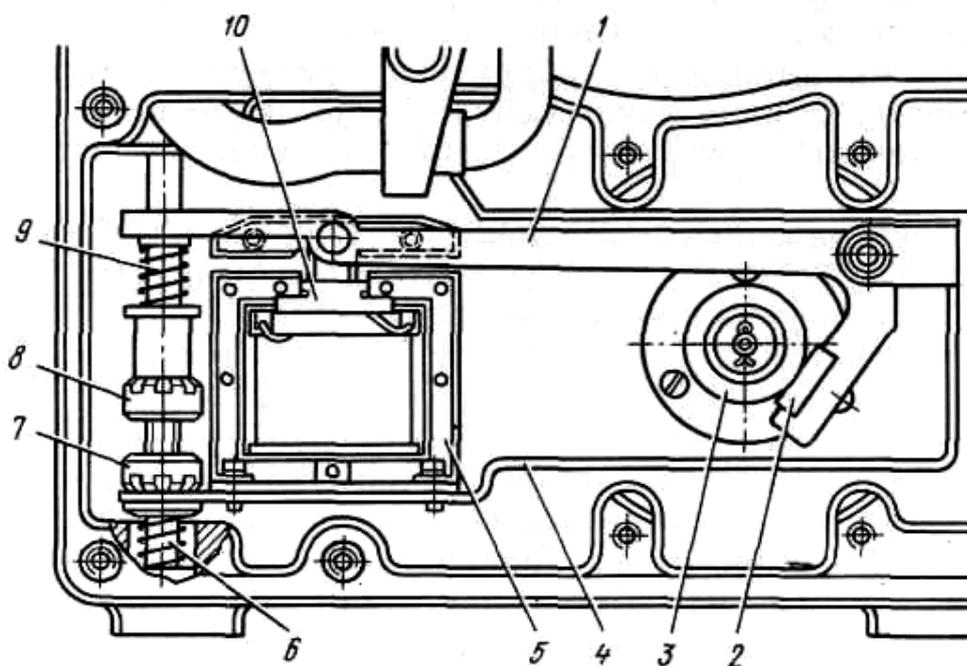


Рис. 14.3. Устройство электромагнитного тормоза ЭИМ

Тормозное устройство служит для фиксированного останова регулирующего органа механизма после прекращения управляющего сигнала и для устранения самохода (если в механизме применен асинхронный конденсаторный двигатель). Наиболее широко в электрических исполнительных механизмах применяются фрикционные тормоза с электромагнитным управлением. На рис. 3 показано устройство такого тормоза. Сердечник электромагнита 5 с катушкой укреплен на рычаге 4, опирающемся на пружину 6, а якорь 10 этого электромагнита установлен на рычаге 1. Пружина 6 поджимает рычаг 4 к гайке 7, а пружина 9 через рычаг 1 поджимает тормозную колодку 2 к шкиву 3. Усилие

пружины 9 регулируется гайкой 8. При подаче напряжения на обмотку электромагнита якорь 10 притягивается к сердечнику, пружина 9 сжимается, тормозная колодка 2 отходит от шкива 3 и происходит растормаживание механизма. При снятии напряжения с обмотки электромагнита пружина 9 прижимает колодку 2 к шкиву 3, т. е. происходит торможение механизма, исключаящее перемещение его регулирующего органа.

Датчики обратной связи по положению служат для получения электрического сигнала обратной связи $U_{осн}$, значение которого определяется пространственным положением регулирующего органа механизма. В механизме таких датчиков обычно два: сигнал с одного из них подается на управляющее устройство УУ, где он, суммируясь с управляющим сигналом U_c , корректирует работу двигателя в соответствии с пространственным положением регулирующего органа механизма, а сигнал с другого датчика подается на дистанционный указатель положения регулирующего органа. В качестве датчиков обратной связи по положению используют датчики двух типов: реостатные и индукционные. **Реостатный датчик** – это реостат, включенный по схеме потенциометра. Положение движка этого датчика соответствует пространственному положению регулирующего органа механизма.

Основной недостаток реостатных датчиков – наличие скользящего контакта, который снижает надежность ЭИМ из-за возможного подгорания контакта или нарушения его из-за окисления. Более надежны **индукционные датчики**. Такой датчик состоит из двух катушек, включенных по дифференциальной схеме. Внутри катушек перемещается сердечник, связанный через профильный кулачок с выходным валом механизма. Рабочий ход этого сердечника 5 мм. При симметричном расположении сердечника относительно катушек напряжения на выводах обеих катушек одинаковы. При смещении сердечника от этого положения напряжения на катушках становятся неодинаковыми. Благодаря использованию кулачка специального профиля напряжения на катушках изменяются прямо пропорционально углу поворота выходного вала исполнительного механизма. Датчики обратной связи монтируются в отдельном блоке совместно с конечными выключателями. При подходе регулирующего органа механизма к одному из крайних положений срабатывают **конечные выключатели**, отключающие электродвигатель.

Наличие в исполнительном механизме контактных элементов заметно снижает его надежность из-за подгорания или залипания контактов. Стремление повысить надежность ЭИМ привело к созданию бесконтактных исполнительных механизмов, не содержащих в своих цепях размыкаемых или скользящих контактов. В таких механизмах нет конечных выключателей, а для ограничения крайних положений выходного органа механизма применены механические упоры. При подходе к одному из крайних положений регулирующей орган механизма стопорится упором. Специфика работы бесконтактных исполнительных механизмов предъявляет к электродвигателю дополнительное требование – возможность его работы в режиме короткого замыкания, когда скольжение $s = 1$. В качестве таких двигателей используются асинхронные конденсаторные двигатели серии ДАУ. *Однофазное питание двигателя упрощает схему управляющего устройства и самого механизма за счет сокращения количества управляющих элементов.* Двигатели серии ДАУ не боятся перегрузки, так как для них режим короткого замыкания является одним из возможных рабочих режимов. Такое свойство этих двигателей обеспечивается оптимальным выбором формы механической характеристики, соответствующей номинальному скольжению $S_{ном} \approx 20\%$. При этом пусковой момент двигателя равен максимальному, т. е. критическое скольжение

Промышленностью изготавливаются разнообразные электрические исполнитель-

ные механизмы, предназначенные для работы в системах общепромышленной автоматике и системах специального назначения. Например, исполнительные механизмы типа **МЭО** (однооборотные, т. е. с вращательным движением выходного органа в пределах одного оборота), типа **МЭМ** (многооборотные, для управления регулирующими органами с винтовым шпинделем), типа **МЭП** (прямоходные, с поступательным движением выходного органа).

В табл. 1 приведены технические данные некоторых исполнительных механизмов постоянной скорости типа **МЭО**.

Таблица 1

Типоразмер ч	Номинальный крутящий момент на выходе, Н·м	Время полного хода, с	Ход выходного вала, об	Тип двигателя	Масса, кг
МЭО-40/25-0,63	40	25	0,63	ДАУ-10С	20
МЭО-100/25-0,63	100	25	0,63	ДАУ-25П	30
МЭО-250/63-0,63	250	63	0,63	ДАУ-25П	30
МЭО-250/25-0.63К	250	25	0,63	4АА56А4	95
МЭО-630/63-0,63	630	63	0,63	ДАУ-63П	95
МЭО-630/160-0.63К	630	160	0,63	4АА56А4	95

Примечание. Буква К в обозначении типоразмера указывает, что механизм контактный.

Основу исполнительного механизма типа **МЭО** (рис. 4) составляет редуктор, на корпусе 4 которого крепятся: электродвигатель 1, блок датчиков обратной связи по положению 3, электромагнитный тормоз 6. Штурвал 5 служит для ручной установки регулирующего органа механизма 7. Механизм подключается в схему автоматического управления посредством штуцерного ввода 2.

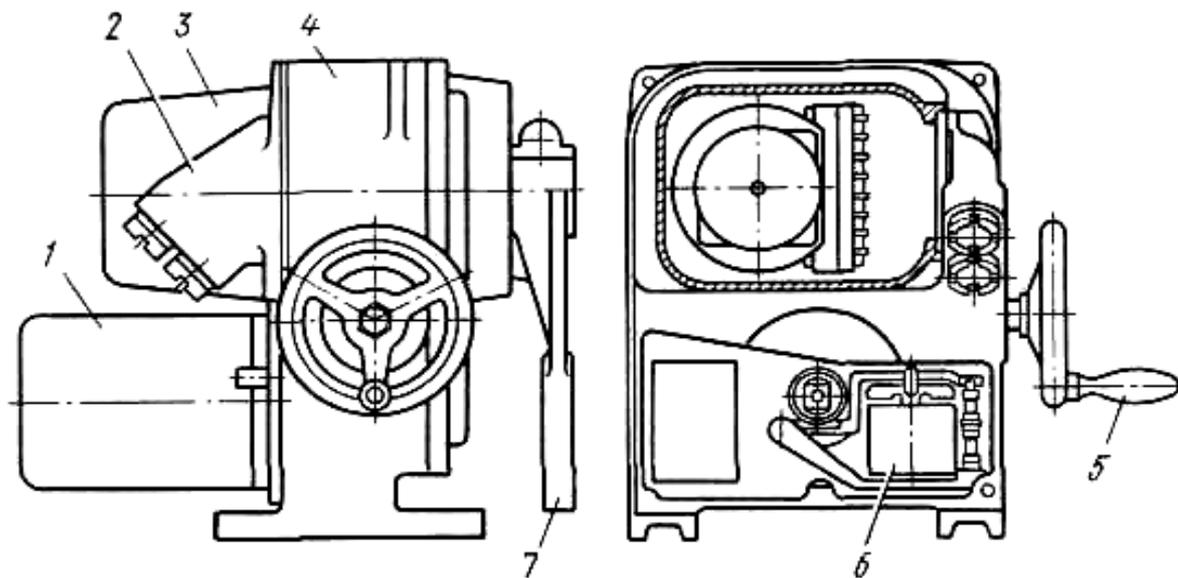


Рис. 14.4. Общий вид бесконтактного исполнительного механизма типа **МЭО**

На рис. 5 показана принципиальная схема бесконтактного ЭИМ, в котором в качестве приводного двигателя **М** применен асинхронный конденсаторный двигатель серии **ДАУ**. Обмотка возбуждения **ОВ** этого двигателя через конденсатор **С** включена в сеть переменного тока на напряжение 220 В, а обмотка управления **ОУ** вместе с обмот-

кой электромагнитного тормоза ЭТ подключена к управляющему устройству УУ. Туда же подведены выводы индукционного датчика ДИ1. Выводы датчика ДИ2 подключены к дистанционному указателю положения выходного органа ДУП. Привод регулирующего органа РО осуществляется через редуктор Р.

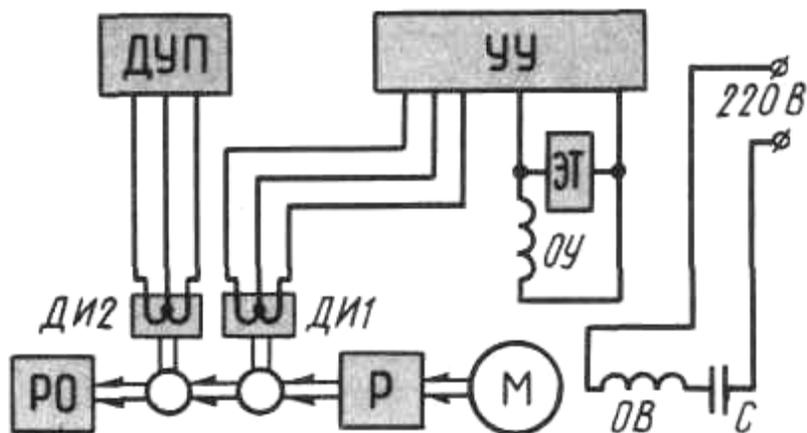


Рис. 14.5. Принципиальная схема бесконтактного ЭИМ

3. ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОБОТОВ

Электрический привод в промышленных роботах за последние годы получает все более широкое применение, что объясняется рядом его преимуществ по сравнению с гидро- и пневмоприводами. Электроприводы просты в эксплуатации, имеют более низкий уровень шума, в них отсутствуют трубопроводы.

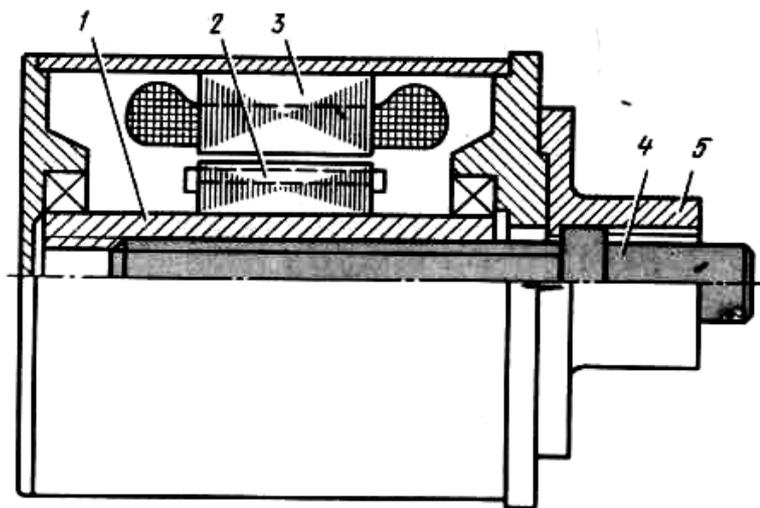


Рис. 14.6. Устройство модуля «мотор-палец»

В промышленных роботах применяются электроприводы *дискретного (релейного) и непрерывного действия*. **Электроприводы дискретного действия**, не регулируемые в процессе работы, наиболее просты и состоят из редуктора и электродвигателя, включаемого в сеть посредством реле или пускателя. Предельное положение выходного органа робота с таким приводом фиксируется либо упором (если двигатель допускает работу на «упор»), либо конечным выключателем. Передача движения от двигателя к рабочему органу осуществляется через редуктор, понижающий частоту вращения и увеличивающий вращающий момент, а иногда еще и преобразующий вращательное движение в поступательное посредством передачи «винт-гайка» или реечной. В электроприводах непрерывного действия применяют электродвигатели с регулированием их частоты вращения, например двигатели постоянного тока независимого возбуждения, обладающие хорошими регулировочными свойствами. Одна из специфических особенностей работы электропривода промышленного робота – переменная нагрузка на валу двигателя. Чтобы скорость перемещения исполнительного органа

передача движения от двигателя к рабочему органу осуществляется через редуктор, понижающий частоту вращения и увеличивающий вращающий момент, а иногда еще и преобразующий вращательное движение в поступательное посредством передачи «винт-гайка» или реечной. В электроприводах непрерывного действия применяют электродвигатели с регулированием их частоты вращения, например двигатели постоянного тока независимого возбуждения, обладающие хорошими регулировочными свойствами. Одна из специфических особенностей работы электропривода промышленного робота – переменная нагрузка на валу двигателя. Чтобы скорость перемещения исполнительного органа

на работа в условиях переменной нагрузки оставалась практически неизменной, необходимо применять в электроприводе либо двигатель с жесткой механической характеристикой, либо использовать в схеме управления двигателем блок стабилизации частоты вращения. Высокая точность перемещения исполнительного органа обеспечивается применением в электроприводе шаговых двигателей (см. § 8.7). В этом случае точность воспроизведения роботом заданных движений определяется величиной шага двигателя.

Для промышленных роботов, предназначенных для автоматизации операций по перемещению деталей и узлов, целесообразно применять модули. Модули можно устанавливать отдельно или компоновать из них несложные конструкции промышленных роботов. Показательные примеры таких модулей – модуль «мотор-палец» и модуль «мотор-рука» [18]. Эти модули просты по конструкции и состоят из асинхронного двигателя, совмещенного с редуктором, и выходного штока, совершающего поступательное движение.

Модуль «мотор-палец» (рис. 14.6) выполняется на усилие 50–200 Н с ходом штока 15–50 мм. Статор 3 этого модуля имеет обмотку, при включении которой в сеть создается вращающееся магнитное поле. На наружной поверхности полого вала 1 расположен сердечник ротора 2 с короткозамкнутой обмоткой. На внутренней поверхности вала 1 и наружной поверхности штока 4 имеется резьба. При этом шток 4 ввинчивается в полый вал 1, как винт в гайку. При включении двигателя вращательное движение ротора 2 преобразуется в поступательное движение штока 4. Внутреннее отверстие фланца 5 имеет шпоночный паз, предотвращающий вращение штока 4. При подходе штока к крайним

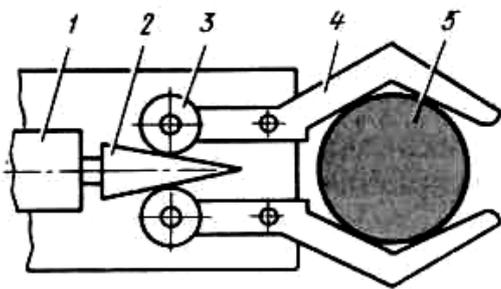


Рис. 14.7. Устройство захватного клинового механизма

положениям усилие на штоке демпфируется пружинами, расположенными либо непосредственно в модуле, либо вне его. Если необходимо зафиксировать крайние положения штока, то применяют концевые выключатели, располагаемые вне модуля. На базе модуля «мотор-палец» при добавлении зажимного механизма, приводимого в действие выходным штоком модуля, изготавливается захватное устройство, предназначенное для захвата детали при ее транспортировке. Например, в захватном клиновом механизме (рис. 14.7) деталь 5 захватывается клещами 4, которые приводятся в действие клином 2, закрепленным на штоке 1 модуля «мотор-палец». Для захвата детали шток 1 подают вперед и клин 2, входя между роликами 3, зажимает клещами 4 деталь 5. При движении штока назад клин освобождает клещи, которые под действием пружины разжимаются.

Модуль «мотор-рука» выполняется на рабочие усилия до 10 кН с ходом, штока до 800 мм. Принцип действия этого модуля аналогичен действию модуля «мотор-палец», но конструктивно отличается из-за значительного усилия и большого хода штока. Ротор 3 трехфазного асинхронного двигателя (рис. 14.8) через редуктор 4 вращает ходовой винт 7. Гайка 6 перемещается по ходовому винту и приводит в поступательное движение выходной шток 1. Тарельчатые пружины 5 предотвращают удары штока в его крайних положениях. Тормоз 2 фрикционного типа с электромагнитным управлением предотвращает свободный выбег ротора при отключении двигателя. Концевые выключатели располагают вне модуля.

Для дальнейшего усовершенствования модуля в нем применяют два двигателя на разные частоты вращения или один, двухскоростной двигатель: при приближении

штока к заданной точке двигатель переключается на меньшую частоту вращения, что способствует более точной фиксации штока в заданной точке. Для переключения двигателя с одной частоты вращения на другую используют путевой переключатель. Перспективно также использовать в электроприводе промышленных роботов линейные асинхронные двигатели (см. § 3.10).

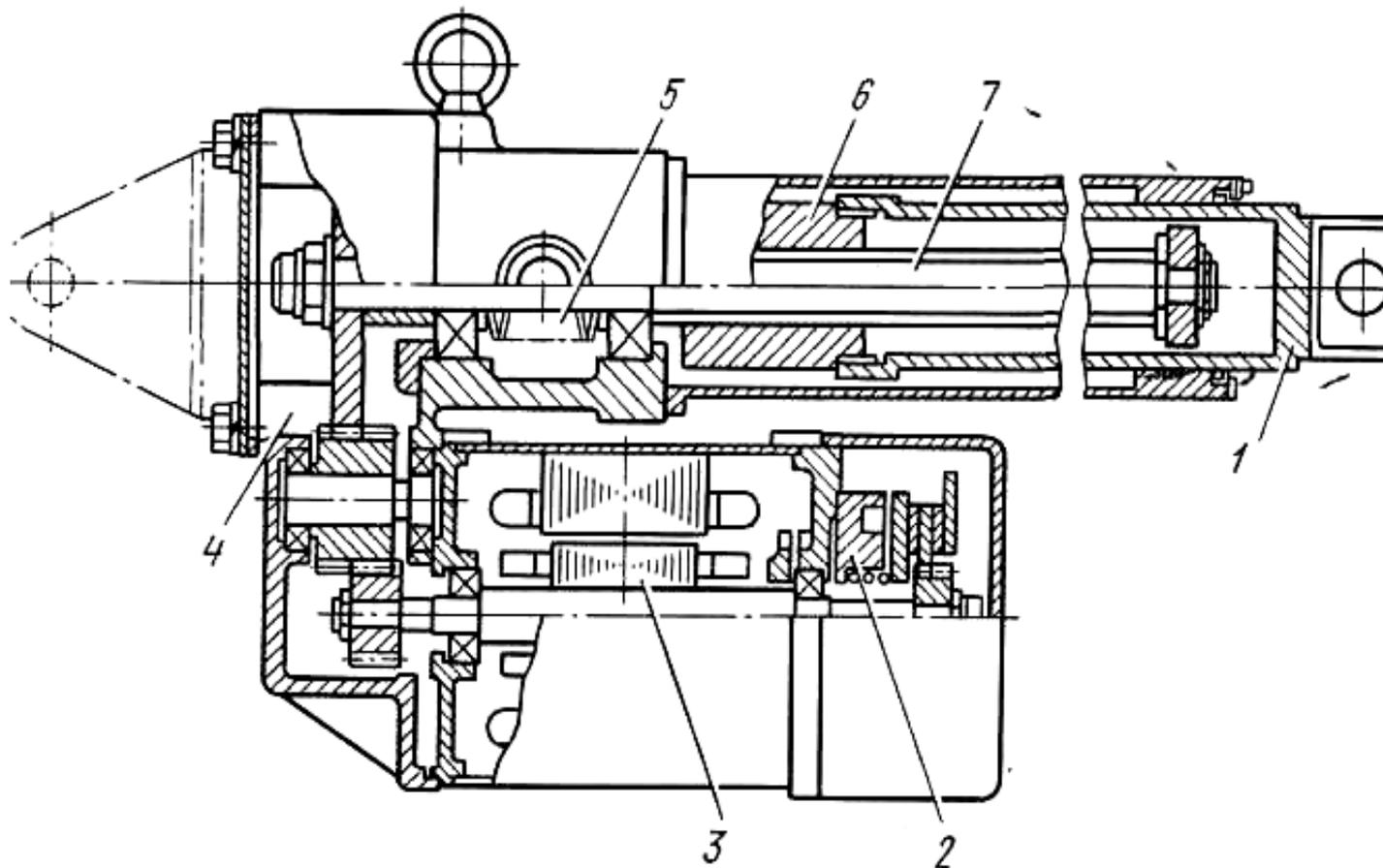


Рис. 14.8. Устройство модуля «мотор-рука»

Применение двигателей постоянного тока в электроприводе промышленных роботов обеспечивает хорошую регулируемость частоты вращения и вращающего момента. Особый интерес представляют двигатели, возбуждаемые постоянными магнитами (см. § 6.2), имеющие наиболее простую схему соединения и минимальные габариты. Применение двигателей постоянного тока имеет еще и то преимущество, что позволяет выполнить промышленный робот автономным, снабдив его аккумуляторной батареей.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какова особенность работы электропривода в системе автоматического управления?
2. Из каких элементов состоит электрический исполнительный механизм?
3. Каковы преимущества электропривода промышленных роботов.

Розробив:

доцент кафедри автомобільної електроніки

д.т.н., с.н.с.

к.т.н.

А.В. Гнатов

Щ.В. Аргун