

## Тема: ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРИБОРАХ И СРЕДСТВАХ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

1. Понятие ГСП
2. Измерительные преобразователи и устройства
3. Автоматические регуляторы
4. Исполнительные механизмы

### 1. Понятие ГСП

В целях унификации технических систем контроля и регулирования ТП различных отраслей народного хозяйства создана Государственная система промышленных приборов и средств автоматизации (ГСП).

Функциональная схема ГСП включает несколько групп приборов и устройств:

- 1) для получения информации о состоянии ТП;
- 2) для приема, преобразования и передачи информации по каналам связи;
- 3) преобразования, хранения и обработки информации и формирования команд управления;
- 4) для использования командной информации в целях воздействия на ОУ.

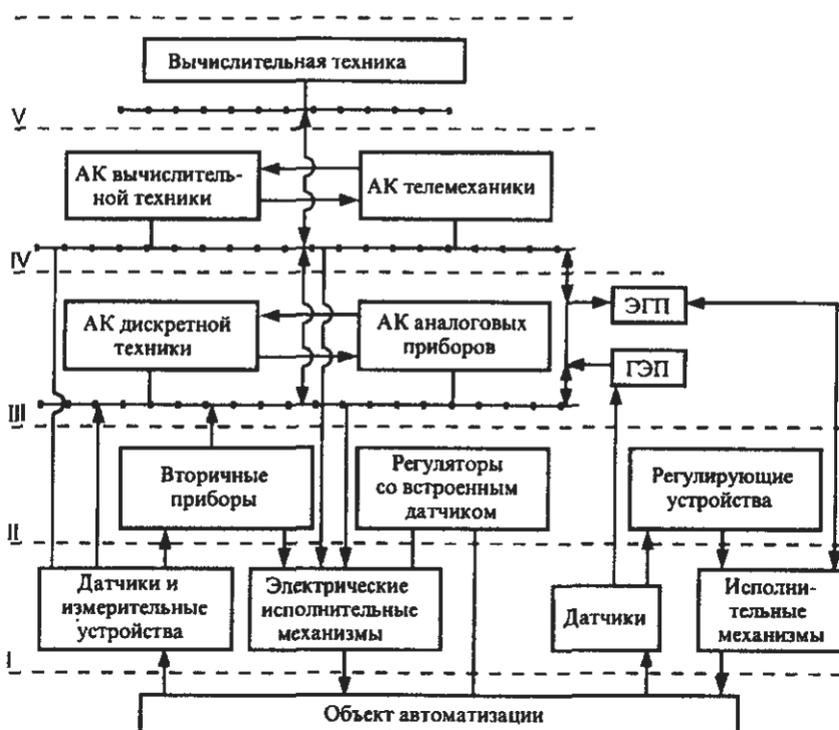


Рис. 1. Функционально-целевая структура электрической ветви ГСП:  
АК — агрегатный комплекс

Функциональная структура ГСП состоит из нескольких ветвей. На рис. 1 показана функционально-целевая структура электрической ветви ГСП, получившая наибольшее распространение в сельскохозяйственном производстве. Она делится на пять уровней (групп) технических средств:

I — технические средства непосредственного взаимодействия с объектом автоматизации, преобразующие параметры в унифицированный электрический сигнал (средства контроля и сигнализации) или унифицированный сигнал в управляющее воздействие на процесс (исполнительные органы);

II — вторичные приборы и регуляторы со встроенным датчиком для простых локальных систем автоматизации;

III — средства централизованного контроля, регулирования и управления для сложных систем автоматизации (АСУ ТП), отличающиеся наличием цифровой обработки информации;

IV — средства контроля, регулирования и управления для централизованных АСУ ТП на базе управляющей вычислительной техники, телемеханики;

V — средства вычислительной техники для решения задач автоматизации процессов организационно-экономического управления производством и предприятиями.

В сельскохозяйственной автоматике мобильных машин и агрегатов используют также технические средства гидравлической ветви ГСП, включающей устройства двух нижних уровней (правая часть рис. 1):

I — средства преобразования для получения информации и воздействия на процесс;

II — средства контроля и регулирования для простых локальных систем автоматизации.

Между техническими средствами электрической и гидравлической ветвей нередко существуют связи с взаимным обменом унифицированными сигналами благодаря применению электрогидравлических (ЭГП) и гидроэлектрических преобразователей (ГЭП). Это дает возможность выбрать оптимальную структуру технических средств из устройств разных ветвей ГСП.

Самый простой вариант структуры гидравлической ветви — группа приборов, работающих без вспомогательной энергии, состоящая из регуляторов прямого действия.

Входные и выходные сигналы приборов, входящие в ГСП, унифицированы:

- сигнал постоянного тока: 0...5; 5...0...5; 0...20 мА;

- сигнал напряжения постоянного тока: 0...1; 1...0...1; 0...10; 10...0...10 В;

- сигнал напряжения переменного тока частотой 50 и 400 Гц: 0...0,25; 0...0,5; 0...1; 0...2 В;

- пневматический сигнал с пределами изменения давления 0,02...0,1 МПа.

Кроме приборов, входящих в ГСП, в сельскохозяйственной автоматике действует большое число технических средств, оперирующих неунифицированными сигналами измерительной информации. Эти технические средства вписываются только в I и II уровни функционально-целевой структуры.

## 2. ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ И УСТРОЙСТВА

Контрольно-измерительные приборы предназначены для контроля за работой и для оценки состояния контролируемых объектов и систем управления (регулирования) - машин, агрегатов, устройств.

Контрольно-измерительные приборы разделяются на указывающие и сигнализирующие.

Сигнализирующие приборы реагируют на одно значение измеряемого параметра и информируют об этом световым или звуковым сигналом.

Контрольно-измерительный прибор состоит из датчика и указателя. Датчик устанавливается в месте контроля, а указатель в месте наблюдения. В сигнализирующих приборах указателем является сигнальная лампа или звуковой сигнал.

По назначению все контрольно-измерительные приборы разделяются на группы: измерения температуры (термометры), уровня, давления, влажности, контроля напряжения и тока в электрических цепях, измерения скорости и перемещения (спидометры), измерения частоты вращения (тахометры) и т.д.

*Измерительное устройство* регулятора, как и всякое звено контура регулирования, характеризуется зависимостью между выходной и входной величинами в установившемся и переходном режимах. В установившемся режиме эта зависимость характеризует статическую характеристику устройства. Желательно, чтобы статическая характеристика измерительного устройства в рабочем диапазоне изменения регулируемой величины была линейной.

Измерительное устройство по сравнению с объектом управления (ОУ) должно иметь минимальные запаздывание и постоянную времени. Мощность, развиваемая измерительным устройством, должна быть больше мощности, необходимой для перемещения регулирующего

органа регулятором прямого действия, или достаточной для нормальной работы регулятора непрямого действия.

Тип измерительного устройства автоматического регулятора определяется:

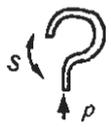
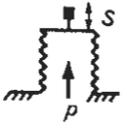
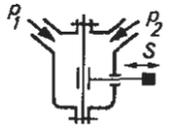
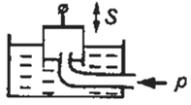
- видом регулируемого параметра (давление, температура, скорость и т. п.);
- физической природой преобразуемого сигнала (температура среды в электрический импульс, в механическое воздействие и т.д.);
- требуемой точностью поддержания регулируемого параметра;
- зависимостью показаний от условий измерения (запыленность среды, вибрация и т. л.).

Рассмотрим принцип действия, особенность конструкции, а также характеристики устройств для измерения давления и разрежения, температуры, уровня, расхода, перемещения и частоты вращения, применяемых в практике автоматизации ТП сельскохозяйственного производства.

## 2.1. Измерение давления и разрежения

Давление измеряют с помощью механических устройств (пружины, мембраны, сильфона), деформируемых или перемещаемых на величину, пропорциональную величине измеряемого параметра (табл. 1).

Таблица 1. Измерение давления и разрежения ( $p$ )

Схема	Наименование	Выходной параметр	Тип звена
	Манометрическая пружина	Перемещение конца трубки $S$	Инерционное или колебательное
	Гармониковая мембрана (сильфон)	Перемещение сильфона $S$	То же
	Дифференциальный манометр	Перемещение мембраны $S$	То же
	Колокольный манометр	Перемещение поплавка $S$	То же

Статическая характеристика устройств этого типа:

$$S = F \cdot p / K$$

где  $F$  — эквивалентная площадь упругого элемента,  $m^2$ ;

$p$  — контролируемое давление,  $H/m^2$ ;

$K$  — жесткость упругого элемента,  $m/H$ .

Динамические характеристики механических измерителей давления описываются передаточной функцией (ПФ) инерционного или, если масса подвижных частей значительна, колебательного звена.

Постоянная времени инерционного звена определяется:

$$T = \mu / K$$

где  $\mu$  — коэффициент трения среды, давление которой измеряют в  $H \cdot c/m^2$ .

Для измерения разности давлений используют дифференциальные манометры, выходная величина  $S$  которых пропорциональна разности контролируемых давлений  $p_1 - p_2$ . Механические измерители применяют для контроля давления от  $10^{-2}$  до 100 МН.

Для очень малых давлений удобны колокольные манометры. В динамическом отношении они также эквивалентны механическим. Коэффициент преобразования измерителя:

$$K = 0,1 \frac{F_c}{F_k \rho},$$

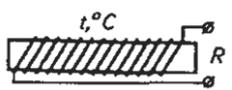
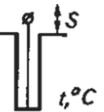
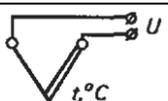
где  $F_c$  и  $F_k$  — площади сосуда и стенок колокола,  $m^2$ ;  
 $\rho$  — плотность жидкости,  $kg/m^3$ .

Кроме механических применяют электрические измерители давления, использующие тензодатчики, пьезорезисторы, магнитоупругие элементы и т. д. В динамическом отношении эти измерители соответствуют безынерционным звеньям, коэффициент преобразования усиления которых определяется конструктивными особенностями измерителя.

## 2.2. Измерение температуры

Работа этой группы преобразователей основана на тепловом расширении твердых тел, жидкостей или газов (биметаллические, dilatометрические, манометрические измерители), на изменении сопротивления проводников и полупроводников (терморезисторы) или изменении термоЭДС, возникающей в двух проводниках разной физической природы при наличии разности температур в точках их соединения (термопара) (табл. 2).

Таблица 2. Измерение температуры ( $t$ )

Схема	Наименование	Выходной параметр	Тип звена
	Металлический терморезистор	Электрическое сопротивление $R$	Инерционное (безынерционное)
	Dilatометр	Перемещение стержня $S$	То же
	Термопара	Напряжение $U$	То же
	Манометрический термометр	Перемещение $S$	То же

Диапазон измерения платиновых терморезисторов — от  $-220$  до  $500$   $^{\circ}C$ , медных — от  $-50$  до  $180$   $^{\circ}C$ . Статическая характеристика металлических терморезисторов в рабочем диапазоне измеряемых температур практически линейна. Коэффициент преобразования для медных терморезисторов гр. 50М и 100М соответственно  $0,214$  и  $0,428$   $Om/^{\circ}C$ , платиновых гр. 50П и 100П соответственно  $0,196$  и  $0,391$   $Om/^{\circ}C$ .

Полупроводниковые терморезисторы используют для измерения температуры от  $-90$  до  $180$   $^{\circ}C$ . В отличие от металлических статическая характеристика полупроводниковых терморезисторов нелинейная, ее крутизна (коэффициент преобразования) с увеличением температуры падает. Существенный недостаток таких измерительных преобразователей — отсутствие взаимозаменяемости, поэтому их градуировка индивидуальна.

Термоэлектрические измерительные преобразователи (термопары), как и металлические терморезисторы, имеют линейную статическую характеристику. Коэффициент преобразования самых распространенных из них:

хромель-алюмель —  $41 \cdot 10^{-3}$   $mV/^{\circ}C$ ; хромель-копель —  $69,5 \cdot 10^{-3}$   $mV/^{\circ}C$ ; медь-константан —  $47,5 \cdot 10^{-3}$   $mV/^{\circ}C$ .

Диапазон измерения хромель-алюмелевых термопар от -50 до 100 °С, а хромель-копелевых — от -50 до 600 °С.

В динамическом отношении передаточные функции измерителей температуры распространенных типов могут быть аппроксимированы последовательно включенными инерционным и запаздывающим звеньями

$$W(p) = \frac{k}{Tp+1} e^{-p\tau}.$$

Параметры  $k$ ,  $T$  и  $\tau$  в основном зависят от конструкции преобразователя, например, для термопар — от толщины и длины металлической гильзы (чехла), защищающей измерительный преобразователь от механических воздействий или от контактов с измеряемой средой. Так, постоянная времени  $T$  находится обычно в диапазоне от 2 до 10 мин.

Работа dilatометрических и биметаллических измерительных преобразователей основана на различии коэффициентов теплового расширения твердых тел, из которых выполнены чувствительные элементы. В dilatометрическом преобразователе по значению перемещения свободного конца стержня  $S$  судят о температуре  $t$  измеряемой среды.

Свободный конец биметаллического преобразователя изгибается в сторону металла обычно с меньшим коэффициентом линейного расширения. Статическая характеристика биметаллического преобразователя нелинейная. Его динамические характеристики соответствуют характеристикам инерционного звена.

В манометрическом преобразователе изменение температуры окружающей среды  $t$  вызывает изменение давления в замкнутой системе, заполненной жидкостью, парожидкостной смесью или газом. По значению перемещения конца манометрической пружины  $S$  судят о температуре среды, в которую помещен термобаллон. Статическая характеристика этого измерительного преобразователя также нелинейная. В динамическом отношении он подобен инерционному звену.

Класс точности манометрических термометров составляет 1,0...2,5. Диапазон измеряемых температур — 160...600 °С. Длина капилляра, связывающего термобаллон с манометрической пружиной, до 60 м.

### 2.3. Измерение уровня

Чаще всего уровень измеряют с помощью поплавка, плотность которого меньше плотности жидкости, или погружного поплавка, плотность которого больше, чем плотность жидкости (табл. 3). В первом случае поплавок следит за уровнем жидкости, во втором устройство действует по принципу измерения выталкивающей силы, действующей на поплавок.

Таблица 3. Измерение уровня ( $h$ )

Схема	Наименование	Выходной параметр	Тип звена
	Поплавок	Перемещение $S_{ВЫТХ}$	Безинерционное (колебательное)

Кроме поплавковых применяют также измерители, использующие массу сосуда с жидкостью, гидростатическое давление или зависимость электрического сопротивления от уровня контролируемой жидкости.

В динамическом отношении измерители уровня эквивалентны колебательным звеньям или безинерционным звеньям с коэффициентом преобразования  $K$ , определяемым конструкцией устройства:

$$W(p) = S(p) / h(p) = K \cdot h$$

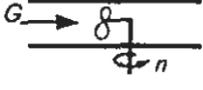
### 2.4. Измерение расхода

Это одно из самых сложных и ответственных видов измерений (табл. 4). Расход измеряют в массовых (кг/с) или объемных ( $V$ , м<sup>3</sup>/с) единицах. Связь между ними определяется соотношением:

$$m = V \cdot \rho,$$

где  $\rho$  — плотность измеряемой среды,  $\text{кг/м}^3$ .

Таблица 4. Измерение расхода ( $G$ )

Схема	Наименование	Выходной параметр	Тип звена
	Дроссельный расходомер	Перепад давления $\Delta p$	Безынерционное
	Счетчик	Частота вращения $n$	То же
	Пневмометрическая трубка	Перепад давления $\Delta p$	То же

Расход жидкости или газа при  $p = \text{const}$  можно измерить с помощью специально устанавливаемого в трубопроводе сужающего устройства, перепад давления  $\Delta p$  на котором пропорционален расходу среды. Этот перепад измеряется дифференциальным манометром. Расходомер этого типа называют **дроссельным**. В динамическом отношении он эквивалентен безынерционному звену с коэффициентом преобразования

$$K = C\sqrt{\Delta p},$$

где  $C$  — коэффициент, значение которого зависит от геометрической формы и размеров сужающего устройства, диаметра трубопровода и плотности измеряемой среды.

Очевидно, статическая характеристика этого измерительного устройства нелинейна.

Для измерения количества вещества  $G$ , кг, используют скоростные или объемные счетчики, рабочий орган которых — крыльчатка, вращаемая потоком жидкости. Количество среды, прошедшей через трубопровод, пропорционально частоте вращения крыльчатки, измеряемой интегрирующим прибором.

Принцип действия у счетчиков количества газа аналогичен, но их рабочий орган имеет иную конструкцию, например в виде двух вращающихся овальных шестерен.

Объемный расход жидкости или газа можно также определить по скорости их движения с помощью пневмометрической трубки. Последнюю располагают по оси трубопровода навстречу потоку. Она воспринимает динамический напор  $\Delta$  равный разности между полным и статическим напором.

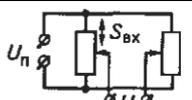
Динамический напор измеряют дифференциальным манометром. Он служит для вычисления скорости в измеряемой точке сечения.

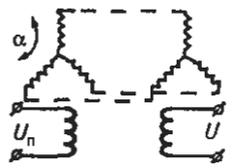
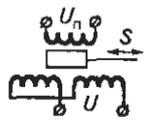
Устройства этого типа используют для измерения расхода жидкостей или газов в трубопроводах больших диаметров и некруглого сечения.

## 2.5. Измерение перемещения

Осуществляют с помощью датчиков потенциметрического типа, разных электромашинных устройств или индуктивных преобразователей (табл. 5).

Таблица 5. Измерение перемещения (линейного  $S$ , углового  $\alpha$ )

Схема	Наименование	Выходной параметр	Тип звена
	Мост постоянного и переменного тока	Напряжение $U$	Безынерционное

	Сельсин-трансформатор	То же	То же
	Дифференциально-трансформаторный преобразователь	То же	То же

Преобразователи потенциметрического типа включают в мостовую схему, питаемую постоянным или переменным током.

Электромашинный преобразователь — сельсин представляет собой миниатюрную электрическую машину, состоящую из статора и ротора. На статоре обычно располагают три обмотки, сдвинутые в пространстве на  $120^\circ$  по отношению одна к другой; а на роторе — одну обмотку. При использовании сельсинов в трансформаторном режиме одноименные зажимы обмоток статоров сельсинов датчика и приемника соединяют между собой. На обмотку ротора сельсина-датчика подают напряжение переменного тока  $U_n$ , а с ротора сельсина-приемника снимают напряжение  $U$ , значение которого пропорционально синусу угла рассогласования роторов. При этом согласованным является положение, при котором оси обмоток роторов сельсинов сдвинуты на  $90^\circ$ .

Дифференциально-трансформаторные преобразователи имеют три обмотки, одна из них, первичная, питается переменным током  $U_n$ , а две другие, вторичные, включены навстречу одна другой. При среднем положении плунжера напряжение  $U$ , индуцируемое во вторичных обмотках, равно нулю. При отклонении плунжера от среднего положения на выходе датчика появляется напряжение переменного тока, значение и фаза которого зависят от значения и направления отклонения.

Статическая характеристика дифференциально-трансформаторного преобразователя в пределах рабочего диапазона линейна.

Дифференциально-трансформаторные преобразователи — универсальные преобразователи перемещения в электрический сигнал для большой группы измерителей расхода, давления, уровня и других параметров.

В динамическом отношении все преобразователи перемещения представляют собой безынерционные звенья. Коэффициент их преобразования:

$$K = U_n \frac{R_H}{R_H + 0,5R},$$

где  $U_n$  — напряжение питания схемы, В;

$R_H$  — сопротивление нагрузки, Ом;

$R$  — полное сопротивление преобразователя, Ом.

Коэффициент преобразования, В/рад, сельсинной пары в трансформаторном режиме:

$$K = U_{\max}/57,3$$

где  $U_{\max}$  — максимальное выходное напряжение, В.

Коэффициент преобразования, В/мм, дифференциально-трансформаторного преобразователя:

$$K = \frac{2w_2}{w_1} \frac{U}{S_{\text{вх}}},$$

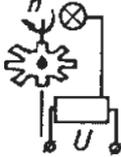
где  $w_1$  и  $w_2$  — число витков первичной и вторичной обмоток преобразователя;

$S_{\text{вх}}$  — значение входной величины.

## 2.6. Измерение частоты вращения

Его проводят с помощью механических, гидравлических, индукционных, частотных и электрических устройств (табл. 6).

Таблица 6. Измерение частоты вращения ( $n$ )

Схема	Наименование	Выходной параметр	Тип звена
	Механический тахометр	Перемещение $S$	Колебательное
	Электрический тахометр	Напряжение $U$	Безынерционное
	Импульсный тахометр	Напряжение $U$	Безынерционное

К механическим измерителям частоты вращения относят центробежные тахометры. При вращении вала тахометра на грузы действует центробежная сила, под действием которой они расходятся, деформируя пружину и перемещая муфту.

В динамическом отношении центробежные тахометры — колебательные звенья.

Параметры их передаточных функций зависят от конструкции измерительного устройства.

К механическим измерителям относят также гироскопы.

Гидродинамические измерители преобразуют угловую скорость вращения в давление жидкости, создаваемое насосом.

В индукционных измерителях входной вал соединен с постоянным магнитом. При вращении магнита в металлическом диске индуцируется ЭДС, которая порождает вихревые токи. От их взаимодействия с полем постоянного магнита возникает момент вращения, значение которого пропорционально частоте вращения входного вала.

Действие электромашинных измерителей частоты вращения (электрических тахометров) основано на зависимости ЭДС  $U$ , развиваемой генератором постоянного тока от частоты вращения ротора  $n$ .

В динамическом отношении электрический тахометр подобен безынерционному звену с коэффициентом преобразования

$$K = k_K \Phi,$$

где  $k_K$  — коэффициент, зависящий от конструкции: числа пар полюсов, числа проводников обмотки якоря и числа параллельных ветвей;

$\Phi$  — магнитный поток, Вб.

Обычно значение коэффициента передачи тахогенератора находится в пределах 0,06...1,15 В·с/рад.

При измерении частоты вращения рабочих органов мобильных сельскохозяйственных агрегатов часто применяют импульсные измерители частоты, преобразующие угловую скорость в частоту следования импульсов некоторого значения (тока, светового потока, излучения и т. д.). В динамическом отношении эти измерительные устройства также подобны безынерционному звену с коэффициентом передачи:

$$K = z/2\pi$$

где  $z$  — число зубцов или отверстий вращающегося диска.

### 3. АВТОМАТИЧЕСКИЕ РЕГУЛЯТОРЫ

**Автоматическим регулятором** называют устройство, которое воспринимает разность между текущим и заданным значениями регулируемой величины, и преобразует ее в воздействие на регулирующий орган в соответствии с законом регулирования.

Напомним, что элементы типового регулятора — это измерительный преобразователь, задающее устройство, усилитель и собственно регулирующее устройство, которое вырабатывает сигнал рассогласования текущего и заданного значения регулируемой величины, усиливает его и корректирует в соответствии с законом регулирования, вырабатывая сигнал регулирующего воздействия.

Основные типы регуляторов — позиционные регуляторы и регуляторы непрерывного действия.

**Позиционный регулятор** вырабатывает сигнал, который перемещает регулирующий орган в одно из фиксированных положений (позиций). Этих положений может быть два, три и более, соответственно различают двух-, трех- и многопозиционные регуляторы.

Уравнение автоматической системы регулирования с позиционным регулятором определяется статической характеристикой регулятора.

Позиционные регуляторы бывают с числом позиций два, три и более.

Трехпозиционные регуляторы в отличие от двухпозиционных кроме двух устойчивых положений — «больше»  $B_1$  и «меньше»  $B_2$  — обеспечивают еще и третье — «норма».

Преимущества трехпозиционного регулирования перед двухпозиционным заключаются в отсутствии автоколебаний при изменении зоны нечувствительности  $-\Delta < y < +\Delta$  и малом значении амплитуды колебаний регулируемой величины.

Позиционные регуляторы могут работать также и с исполнительными механизмами, обеспечивающими постоянную скорость перемещения регулирующего органа.

**Регуляторы непрерывного действия** бывают пропорциональные (П), пропорционально-интегральные (ПИ) и пропорционально-интегрально-дифференциальные (ПИД) регуляторы.

При автоматизации ТП сельскохозяйственного производства наибольшее распространение получили системы автоматического регулирования с позиционными регуляторами. Это стало возможным благодаря таким их преимуществам, как простота технических способов управления энергетическими потоками, удобство сочетания релейного элемента с исполнительными механизмами постоянной скорости, перемещающим регулирующий орган, а также благодаря дешевизне, надежности и простоте настройки самих регулирующих устройств.

#### 4. ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

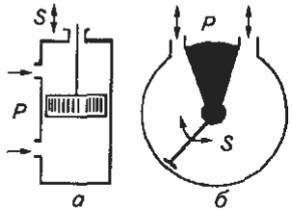
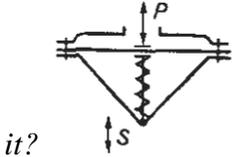
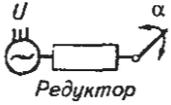
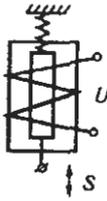
**Исполнительным механизмом** называют устройство, преобразующее управляющий сигнал регулятора в перемещение регулирующего органа. Такое устройство обычно состоит из исполнительного двигателя, передаточного или преобразующего узла (например, редуктора), а также систем защиты, контроля и сигнализации положения выходного элемента, блокировки и отключения. Исполнительный механизм должен обладать достаточным быстродействием и точностью, с тем чтобы осуществлять перемещение регулирующего органа с возможно меньшим искажением закона регулирования.

Наиболее распространена классификация ИМ по виду потребляемой энергии (табл. 7) на гидравлические, пневматические и электродвигательные или электромагнитные.

**Гидравлические ИМ** состоят из управляющего и исполнительного элементов. Обычный вариант управляющего элемента — золотник. В качестве исполнительного элемента — выступает гидроцилиндр, который реализует поступательное (*а*) или вращательное (*б*) движение выходного вала (табл. 7).

В гидравлических ИМ входная величина — перемещение управляющего устройства или давление жидкости на поршень  $p$ , а выходная — перемещение (поворот) выходного вала  $S$ .

Таблица 7. Исполнительные механизмы

Схема	Наименование	Вход	Выход	Выходная мощность, Вт
	Поршневые двигатели с поступательным (а) и вращательным (б) движением поршня	Давление 0,1...10 МПа	Механическое перемещение	$10^2 \dots 5 \cdot 10^4$
	Пневматический мембранный двигатель	Давление 0,1...0,5 МПа	То же	До 200
	Электродвигательный исполнительный механизм	Напряжение	Механическое вращение	До $4 \cdot 10^4$
	Электромагнит-соленоид	То же	Механическое перемещение	До $1,4 \cdot 10^3$

Постоянная времени реального гидравлического ИМ при больших скоростях перемещения поршня сильно возрастает, что объясняется резким увеличением сил поршня вязкого трения, но все-таки с достаточной точностью его характеристики совпадают с характеристиками интегрирующего звена, постоянная времени которого прямо пропорциональна площади поршня и обратно пропорциональна  $\sqrt{p_1 - p_2}$ , где  $p_1$  и  $p_2$  — давление нагнетания и слива рабочей жидкости.

Гидравлические ИМ обладают очень большим быстродействием и выходной мощностью, и потому их применяют в системах автоматизации мобильных сельскохозяйственных машин и агрегатов.

**Пневматические ИМ** по устройству аналогичны гидравлическим. Они получили широкое распространение благодаря высокой надежности, простоте конструкции и возможности получения достаточно больших усилий.

Крутизна статической характеристики пневматического ИМ находится в прямой зависимости от площади мембраны и в обратной — от коэффициента жесткости пружины (несколько возрастает по мере ее сжатия). Соответственно, при малых изменениях выходного параметра  $S$  динамику механизма можно представить характеристиками безынерционного звена, причем коэффициент передачи которого, несколько убывает с увеличением  $S$ .

Общие недостатки пневматических и гидравлических ИМ — сложность операций по их наладке и, главное, необходимость специальных компрессорных (насосных) установок для их питания.

**Электродвигательные ИМ.** В них используют электродвигатели постоянного и переменного тока, в том числе асинхронные двухфазные с полым ротором, с конденсаторами в цепи обмотки управления, а также асинхронные трехфазные двигатели. Исполнительные двигатели постоянного тока имеют независимое возбуждение или возбуждение от постоянных магнитов. Управляют этими двигателями, изменяя напряжение на якоре или на обмотке возбуждения (якорное или полюсное управление).

В большинстве конструкций электрических ИМ применяют двухфазные и трехфазные асинхронные двигатели.

Асинхронный двухфазный двигатель приближенно можно рассматривать как инерционное звено, если выходная величина — угловая скорость ротора, или как два последовательно соединенных звена — интегрирующее и инерционное, если выходная величина — угол  $\alpha$  поворота ротора (табл. 7).

Значение коэффициента передачи зависит от способа управления двигателем, а постоянная времени — от сигнала управления, возрастая с уменьшением пускового момента двигателя от 0,1 до 0,2 с (для полого ротора с обмоткой типа «беличьей клетки»).

Передачная функция асинхронного трехфазного двигателя совпадает с передачной функцией инерционного звена.

Коэффициент преобразования и постоянную времени определяют по механической характеристике двигателя и рабочей машины.

Большинство электродвигательных ИМ работает в режиме, когда скорость перемещения не зависит от значения отклонения регулируемого параметра от заданного. Такой ИМ состоит из асинхронного электродвигателя, редуктора, концевых и путевых выключателей, датчиков (преобразователей), тормозного устройства и ручного привода.

Электродвигатель с редуктором служит для преобразования электрической энергии в механическую, достаточную для перемещения РО.

Концевые выключатели используют для отключения пускателя при достижении РО крайних положений, а путевые выключатели — для ограничения диапазона перемещения РО в автоматическом режиме.

Датчики положения формируют сигнал, пропорциональный углу поворота выходного вала ИМ. Этот сигнал используется индикатором положения на пульте оператора, а также, возможно, в качестве сигнала ОС по положению ИМ (для формирования П-закона регулирования, например).

Ручной привод обеспечивает возможность ручной перестановки РО при нарушениях работы электрической части механизма.

Включение-отключение электродвигателя по команде регулирующего устройства осуществляется через посредство электромагнитного или полупроводникового релейного устройства-пускателя.

Реверс электродвигателя электромагнитного ИМ с трехфазным электродвигателем обеспечивается изменением схемы подключения двух фаз.

После размыкания силовых контактов (рис. 2, а) и отключения напряжения питания электродвигателя выходной вал ИМ останавливается не сразу, а продолжает в течение некоторого времени движение по инерции. Так называемый «выбег» может существенно ухудшать качество регулирования. Уменьшают выбег с помощью тормоза, представляющего собой электролитический конденсатор  $C$ , подключаемый через размыкающие блок-контакты  $KM1$  и  $KM2$  к одной из статорных обмоток электродвигателя. В результате этого в статорной обмотке появляется ток, наводящий в статоре магнитное поле, которое, взаимодействуя с вращающимся ротором, создает противодействующий вращению тормозной момент, уменьшающий выбег ИМ.

Главный недостаток электромагнитного релейного пускового устройства — невысокая надежность. Значительно лучшие характеристики имеет полупроводниковое релейное устройство (рис. 2, б).

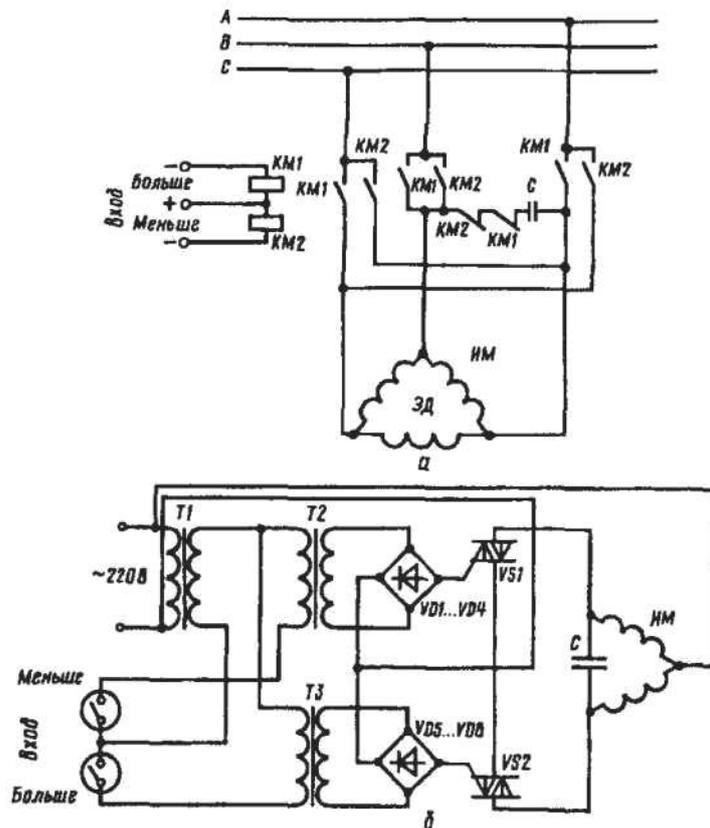


Рис. 2. Схемы управления электродвигательным ИМ:

- а) с трехфазным асинхронным электрическим двигателем; б) с однофазным конденсаторным электрическим двигателем

Основу устройства составляют два тиристорных ключа на симисторах  $VS1$  и  $VS2$ , которыми управляют с помощью сигналов «Больше» — «Меньше», вырабатываемых регулятором или оператором. Каждый из тиристорных ключей включен в цепь питания одной из статорных обмоток электродвигателя.

При отсутствии управляющих сигналов тиристорные ключи разомкнуты и электродвигатель неподвижен.

Включение симистора происходит в результате подачи на управляющий электрод отрицательного напряжения, вырабатываемого соответствующим выпрямительным мостом, питаемым от разделительного трансформатора  $T2$  ( $T3$ ) при наличии командного сигнала от регулятора или оператора.

Трансформатор  $T1$  разделяет управляющие и силовые цепи. Реверсирование электродвигателя осуществляется изменением схемы подключения обмоток, при этом одна обмотка подключается к сети непосредственно, а вторая — через фазосдвигающий конденсатор  $C$ .

Характеристика ИМ — существенно нелинейная, но линейные законы регулирования могут быть реализованы и с этим механизмом при использовании регулятора с импульсным выходом.

**Электромагнитные ИМ** представляют собой соленоиды и электромагнитные муфты.

Соленоидный ИМ — это катушка, втягивающее усилие которой при подаче управляющего сигнала  $U$  перемещает якорь на расстояние  $S$ , преодолевая сопротивление пружины.

Статическая характеристика электромагнитных ИМ, как правило, нелинейная, и их используют в системах позиционного регулирования.

Электромагнитные муфты могут быть фрикционными, порошковыми или асинхронными. Фрикционная муфта состоит из двух полумуфт, посаженных на ведущий и ведомый валы. В одной из полумуфт расположена обмотка возбуждения. При подаче на нее напряжения полумуфты сдвигаются, и возникающая сила трения приводит их в движение. Такие муфты также применяют в системах позиционного регулирования и защиты оборудования при аварийных нарушениях его работы.

Принцип действия порошковой муфты основан на изменении вязкости ферромагнитной массы, заполняющей муфту. При подаче на катушку напряжения вязкость ферромагнитной массы возрастает и передаваемый момент увеличивается.

В муфтах скольжения момент вращения передается посредством магнитного поля, создаваемого обмоткой, расположенной на ведущей полумуфте. При ее вращении в ведомой полумуфте, как в роторе асинхронного двигателя, индуцируется ток, от взаимодействия которого с магнитным полем возникает момент вращения, увлекающий ведомую полумуфту за ведущей.

Порошковые и асинхронные электромагнитные муфты могут быть использованы и в системах непрерывного регулирования. В этом случае их характеризует передаточная функция инерционного звена с постоянной времени 0,03...25 с (для порошковых) и 0,11...0,45 с (для асинхронных муфт).