

Лекция 8 ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРИБОРОВ И СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ, ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ

Учебные вопросы:

- 1. Электро- и пневмосиловые преобразователи ГСП.**
- 2. Нормирующие преобразователи ЭДС и сопротивления в унифицированный токовый сигнал.**
- 3. интеллектуальные датчики.**
- 4. Элементы промышленной пневмоавтоматики, исполнительные устройства.**
- 5. Общие сведения о системах автоматического управления и регулирования. Математическое описание САУ.**
- 6. Показатели качества систем автоматического регулирования.**

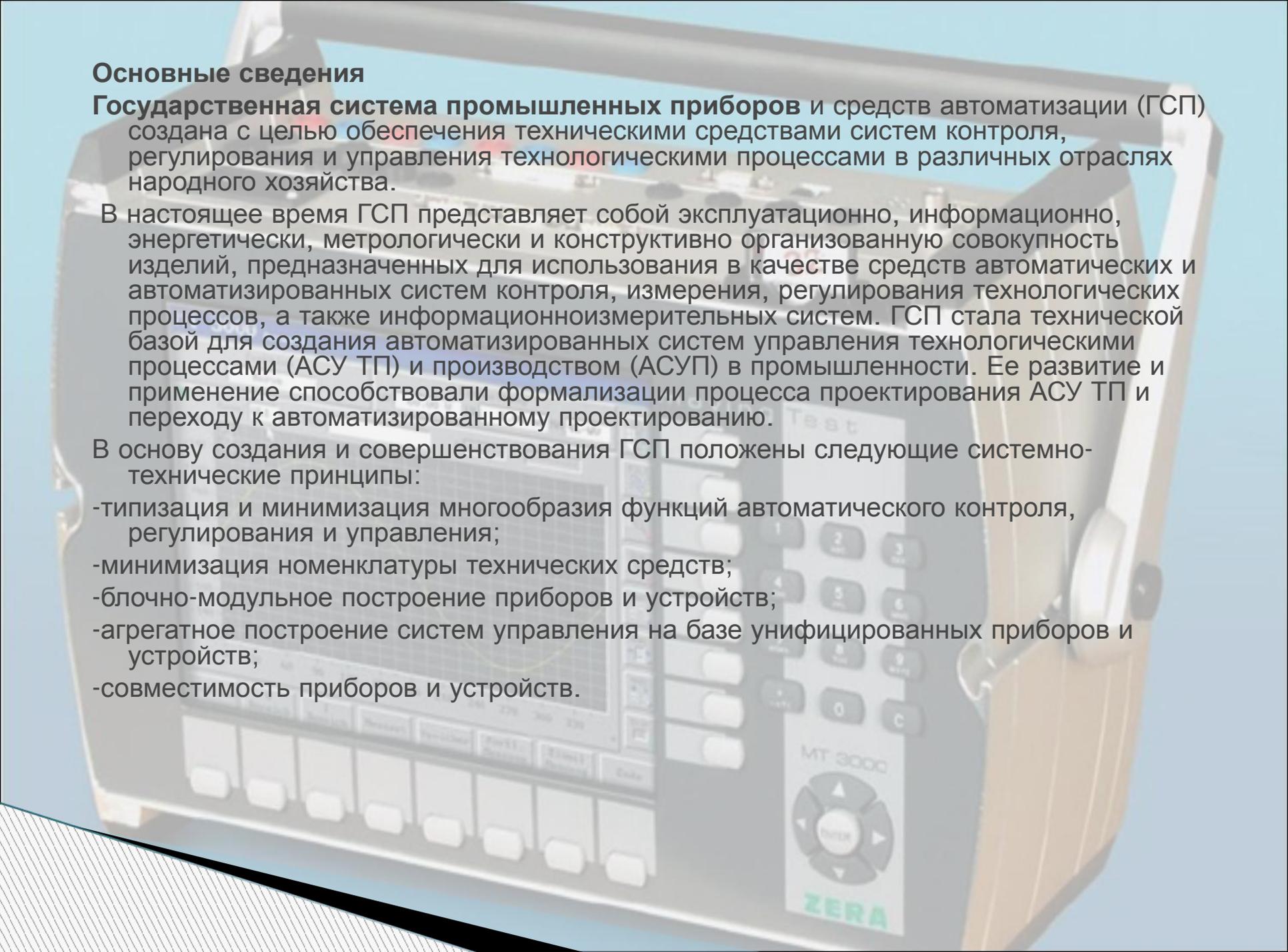
Основные сведения

Государственная система промышленных приборов и средств автоматизации (ГСП) создана с целью обеспечения техническими средствами систем контроля, регулирования и управления технологическими процессами в различных отраслях народного хозяйства.

В настоящее время ГСП представляет собой эксплуатационно, информационно, энергетически, метрологически и конструктивно организованную совокупность изделий, предназначенных для использования в качестве средств автоматических и автоматизированных систем контроля, измерения, регулирования технологических процессов, а также информационно-измерительных систем. ГСП стала технической базой для создания автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) и производством (АСУП) в промышленности. Ее развитие и применение способствовали формализации процесса проектирования АСУ ТП и переходу к автоматизированному проектированию.

В основу создания и совершенствования ГСП положены следующие системно-технические принципы:

- типизация и минимизация многообразия функций автоматического контроля, регулирования и управления;
- минимизация номенклатуры технических средств;
- блочно-модульное построение приборов и устройств;
- агрегатное построение систем управления на базе унифицированных приборов и устройств;
- совместимость приборов и устройств.



По ф у н к ц и о н а л ь н о м у признаку все изделия ГСП разделены на **четыре группы устройств:**

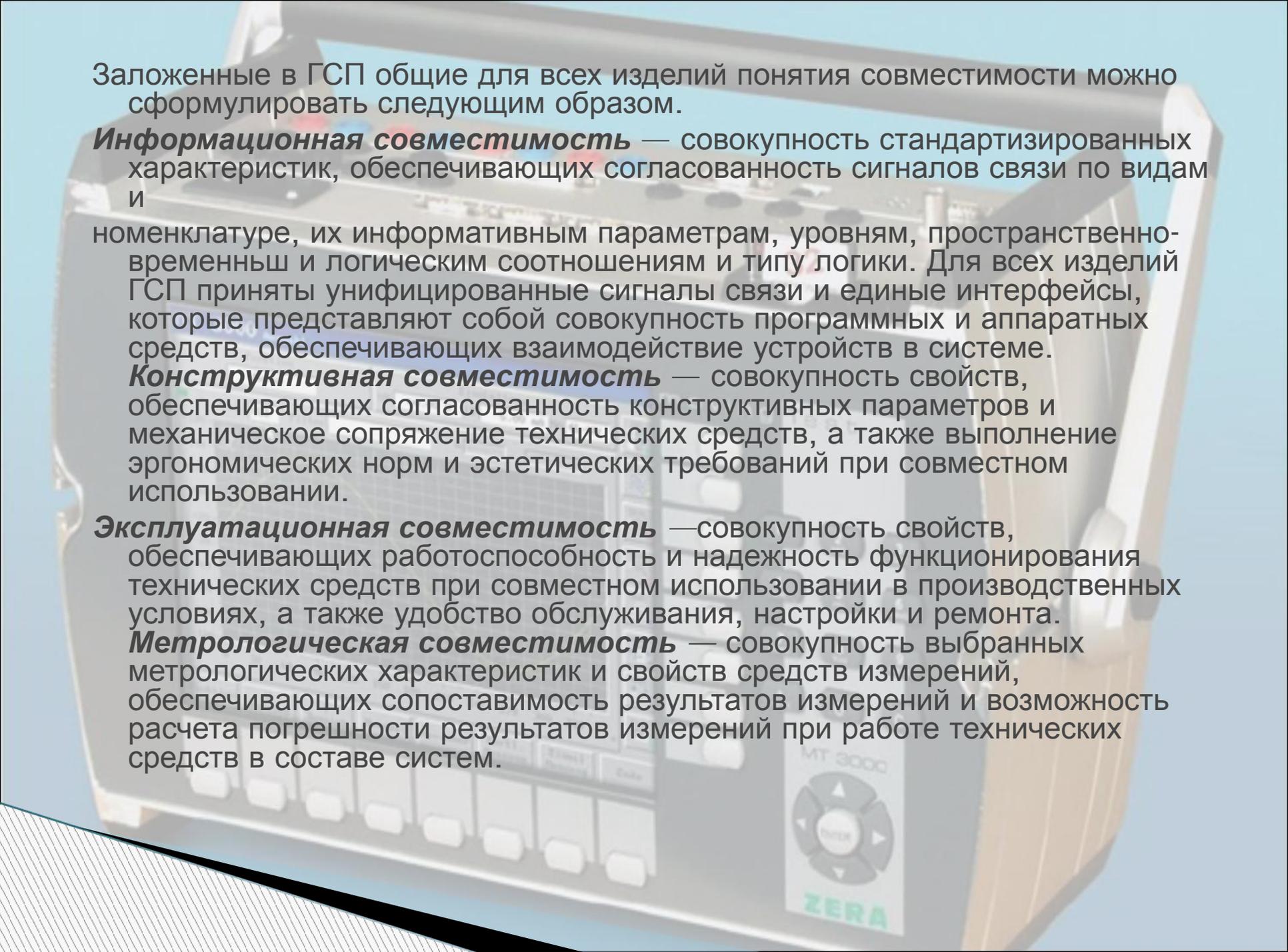
- 1) получение информации о состоянии процесса или объекта;
- 2) прием, преобразование и передача информации по каналам связи;
- 3) преобразование, хранение и обработка информации, формирование команд управления;
- 4) использование командной информации.

В первую группу в зависимости от **способа представления** информации входят: датчики; нормирующие преобразователи, формирующие унифицированный сигнал связи; приборы, обеспечивающие представление измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем, и устройства алфавитно-цифровой информации, вводимой оператором вручную.

Вторая группа содержит коммутаторы измерительных цепей, преобразователи сигналов и кодов, шифраторы и дешифраторы, согласующие устройства, средства телесигнализации, телеизмерения и телеуправления. Эти устройства используют для преобразования как измерительных, так и управляющих сигналов.

Третью группу составляют анализаторы сигналов, функциональные и операционные преобразователи, логические устройства и устройства памяти, задатчики, регуляторы, управляющие вычислительные устройства и комплексы.

В четвертую группу входят исполнительные устройства (электрические, пневматические, гидравлические или комбинированные исполнительные механизмы), усилители мощности, вспомогательные устройства к ним, а также устройства представления информации.

The background of the slide is a faded image of a handheld electronic device, likely a handheld computer or PDA. The device is light-colored with a screen and a keypad. The text 'MT 3000' and 'ZERA' are visible on the device's face. The device is shown from a slightly elevated, angled perspective.

Заложенные в ГСП общие для всех изделий понятия совместимости можно сформулировать следующим образом.

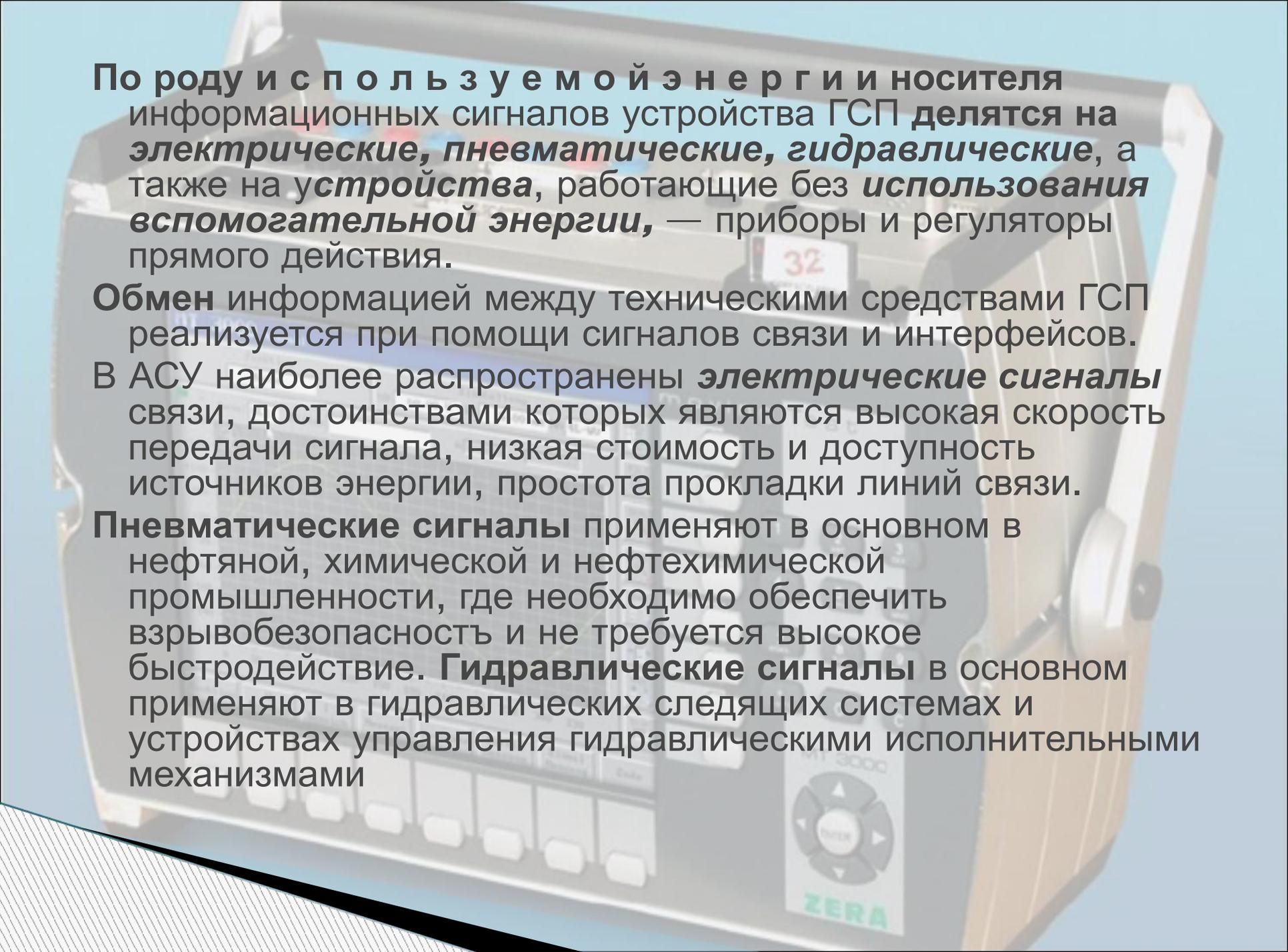
Информационная совместимость — совокупность стандартизированных характеристик, обеспечивающих согласованность сигналов связи по видам и

номенклатуре, их информативным параметрам, уровням, пространственно-временным и логическим соотношениям и типу логики. Для всех изделий ГСП приняты унифицированные сигналы связи и единые интерфейсы, которые представляют собой совокупность программных и аппаратных средств, обеспечивающих взаимодействие устройств в системе.

Конструктивная совместимость — совокупность свойств, обеспечивающих согласованность конструктивных параметров и механическое сопряжение технических средств, а также выполнение эргономических норм и эстетических требований при совместном использовании.

Эксплуатационная совместимость — совокупность свойств, обеспечивающих работоспособность и надежность функционирования технических средств при совместном использовании в производственных условиях, а также удобство обслуживания, настройки и ремонта.

Метрологическая совместимость — совокупность выбранных метрологических характеристик и свойств средств измерений, обеспечивающих сопоставимость результатов измерений и возможность расчета погрешности результатов измерений при работе технических средств в составе систем.

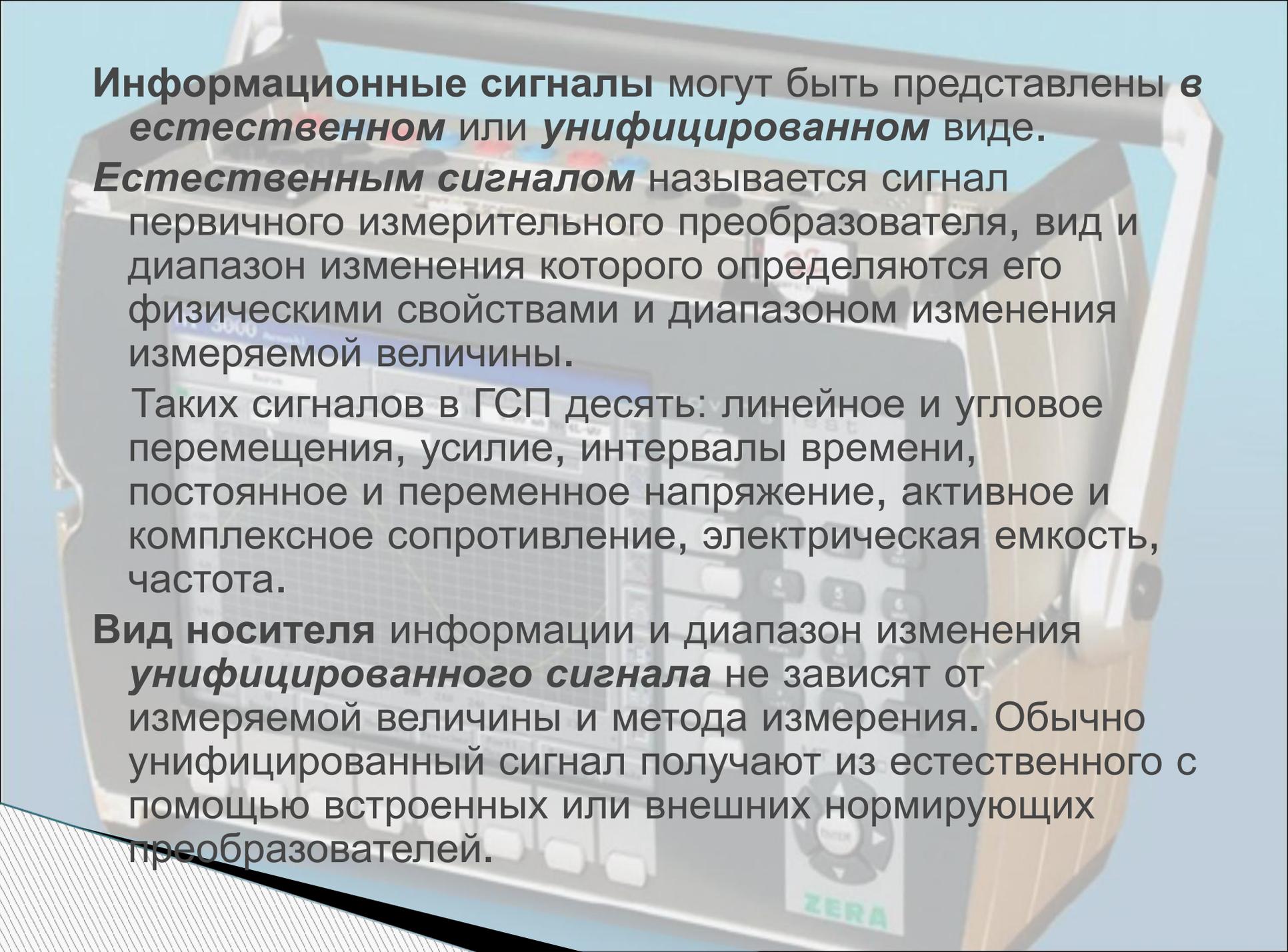


По роду и спользуемой энергии и носителя информационных сигналов устройства ГСП делятся на **электрические, пневматические, гидравлические**, а также на **устройства**, работающие без **использования вспомогательной энергии**, — приборы и регуляторы прямого действия.

Обмен информацией между техническими средствами ГСП реализуется при помощи сигналов связи и интерфейсов.

В АСУ наиболее распространены **электрические сигналы** связи, достоинствами которых являются высокая скорость передачи сигнала, низкая стоимость и доступность источников энергии, простота прокладки линий связи.

Пневматические сигналы применяют в основном в нефтяной, химической и нефтехимической промышленности, где необходимо обеспечить взрывобезопасность и не требуется высокое быстродействие. **Гидравлические сигналы** в основном применяют в гидравлических следящих системах и устройствах управления гидравлическими исполнительными механизмами



Информационные сигналы могут быть представлены в *естественном* или *унифицированном* виде.

Естественным сигналом называется сигнал первичного измерительного преобразователя, вид и диапазон изменения которого определяются его физическими свойствами и диапазоном изменения измеряемой величины.

Таких сигналов в ГСП десять: линейное и угловое перемещения, усилие, интервалы времени, постоянное и переменное напряжение, активное и комплексное сопротивление, электрическая емкость, частота.

Вид носителя информации и диапазон изменения *унифицированного сигнала* не зависят от измеряемой величины и метода измерения. Обычно унифицированный сигнал получают из естественного с помощью встроенных или внешних нормирующих преобразователей.

Электро- и пневмосиловые преобразователи ГСП

Для преобразования измерительной информации в унифицированный сигнал в ГСП применяются преобразователи, работающие по принципу силовой компенсации.

Электросиловой преобразователь ГСП (рис. 9.1) преобразует усилие, развиваемое измерительным устройством ИУ, в электрический сигнал (ток). В основу преобразования «сила—ток» положен принцип силовой компенсации. Измеряемое усилие F преобразуется в перемещение подвижного сердечника 4 индикатора рассогласования 5, представляющего собой дифференциально-трансформаторный преобразователь, на первичную обмотку которого подается питание, а две вторичные обмотки подключены к входу усилителя 6. Это усилие F через подвижную опору 2 уравнивается усилием обратной связи F_{oc} , развиваемым магнитоэлектрическим преобразователем, состоящим из стержневого постоянного магнита 8 с П-образным магнитопроводом, в зазоре которого расположена катушка 7, жестко закрепленная на рычаге 9. Обмотка рамки соединена с выходом электронного усилителя 6. При изменении значения F равновесие рычажной системы нарушается, что приводит к перемещению рычага 1 и укрепленного на нем сердечника 4 из магнитомягкого материала.

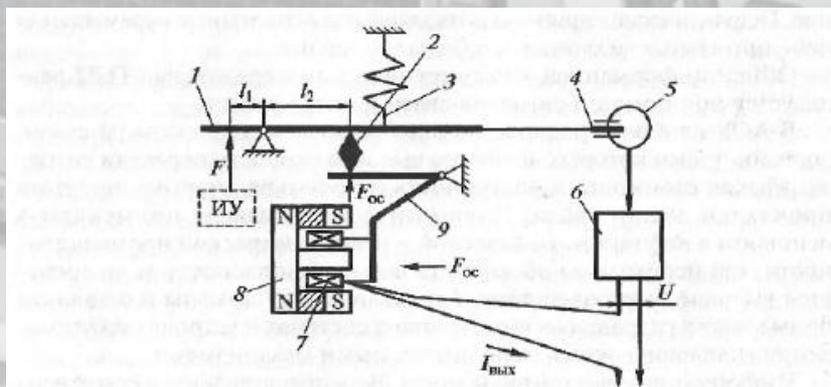


Рис. 9.1. Электросиловой преобразователь ГСП:

1, 9 — рычаги; 2 — подвижная опора; 3 — пружина (корректор нуля); 4 — сердечник; 5 — индикатор рассогласования; 6 — усилитель; 7 — катушка; 8 — постоянный магнит; F — измеряемое усилие; F_{oc} — усилие обратной связи; $I_{вых}$ — выходной ток; l_1, l_2 — плечи рычага; ИУ — измерительное устройство

Пневмосилового преобразователя ГСП (рис. 9.2) преобразует усилие, развиваемое измерительным устройством ИУ, в пневматический сигнал. Измеряемая физическая величина (давление, температура, расход и др.) преобразуется в измерительном устройстве ИУ в пропорциональное усилие F , которое воздействует на рычаг 1 и связанную с ним заслонку 4. Если заслонка прикрывает неподвижное сопло 5, что соответствует увеличению силы F , то давление P_0 в пневмоусилителе 6 увеличивается (при полностью закрытой заслонке давление P_0 равно давлению питания $P_{пит}$). Воздух под этим давлением поступает в сильфон обратной связи 7 и является выходным сигналом $P_{вых}$ преобразователя. Усилие обратной связи $F_{ос}$ через рычаг 8 передается рычагу 1 и уравнивает усилие F , воспринимаемое рычагом 1 от измерительного устройства ИУ.

Таким образом, положение заслонки 4 относительно сопла 5 и давление $P_{вых}$ в процессе измерения в каждый момент соответствует значению измеряемой физической величины. При минимальном усилии F заслонка полностью открывает сопло, полость пневмоусилителя сообщается с атмосферой и давление $P_{вых}$ становится равным барометрическому давлению.

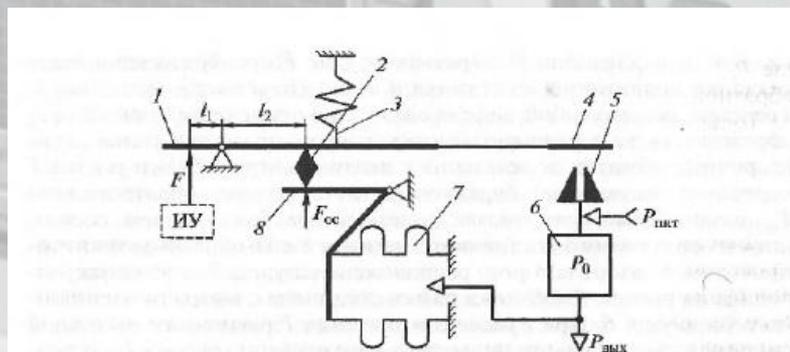


Рис. 9.2. Пневмосилового преобразователя ГСП:

1, 8 — рычаги; 2 — подвижная опора; 3 — пружина (корректор нуля); 4 — заслонка; 5 — сопло; 6 — пневмоусилитель; 7 — сильфон обратной связи; F — измеряемое усилие; $F_{ос}$ — усилие обратной связи; $P_{вых}$ — давление на выходе; P_0 — давление в пневмоусилителе; $P_{пит}$ — давление питания; l_1, l_2 — плечи рычага 1; ИУ — измерительное устройство

Нормирующие преобразователи ЭДС и сопротивления в унифицированный токовый сигнал

Они применяются для введения информации от термопар или терморезисторов в ЭВМ или в систему автоматического регулирования и предназначены для преобразования значения термоЭДС или сопротивления терморезистора в унифицированный сигнал постоянного тока 0... 5 мА.

В основу работы **нормирующего преобразователя** термоЭДС (рис. 9.3, а) положен компенсационный метод измерения термоЭДС с использованием схемы потенциометра с переменной силой рабочего тока. Схема состоит из двух контуров: измерительного контура I и компенсационного контура II. Контур I содержит корректирующий мост КМ, усилитель Y_1 , с токовым выходом $I_{\text{вых}}$ и резистор $R_{\text{кн}}$.

К контуру I подсоединена термопара АВ. **Корректирующий мост** предназначен для введения автоматической поправки на изменение температуры свободного конца термопары, а также компенсации начальной термоЭДС в преобразователях, нижний предел измерения которых не равен 0 °С.

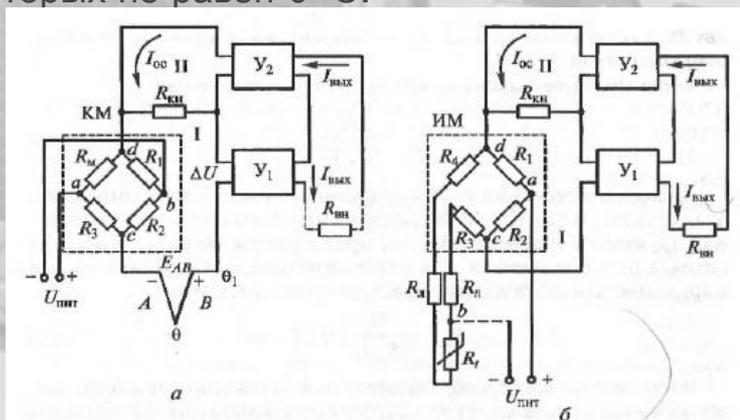


Рис. 9.3. Нормирующие преобразователи в унифицированный токовый сигнал:

а — ЭДС; б — сопротивления; I — измерительный контур; II — компенсационный контур; Y_1 , Y_2 — усилители; КМ — корректирующий мост; ИМ — измерительный мост; R_M — медный терморезистор; R_T — терморезистор; R_1, \dots, R_4 — постоянные сопротивления из манганина; $R_{\text{н}}$ — сопротивление внешней нагрузки; $R_{\text{кн}}$ — нормирующий компенсационный резистор; $I_{\text{вых}}$ — ток выхода; $I_{\text{ос}}$ — ток обратной связи; $U_{\text{пит}}$ — напряжение питания; ΔU — напряжение небаланса; E_{AB} — преобразуемая термоЭДС; а, б, с, d — вершины КМ (ИМ); А, В — электроды термопары; R_4 — подгоночные сопротивления

Интеллектуальные датчики

В последние годы появился новый класс датчиков — так называемые **интеллектуальные датчики**. В отличие от обычных датчиков интеллектуальные датчики являются устройствами с обратной связью.

Они способны самостоятельно подстраиваться под условия эксплуатации и постоянно регулировать свою чувствительность.

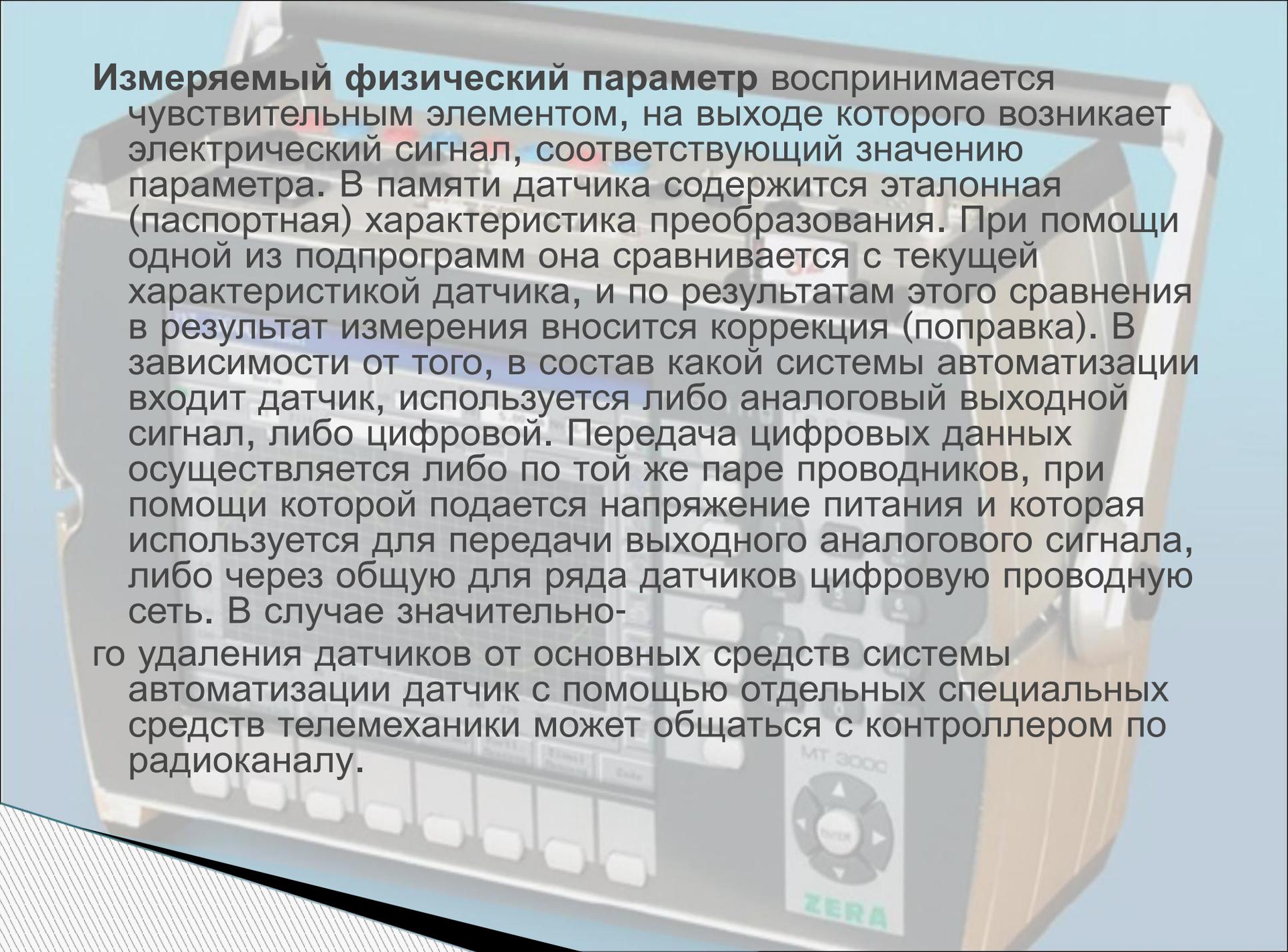
К интеллектуальным датчикам относят датчики, имеющие в своем составе АЦП, специализированный микропроцессор, сетевой контроллер для организации односторонней или двусторонней связи с ПЭВМ по интерфейсам *RS-232*, */W-485*, а также посредством протоколов более высокого уровня: *Profibus*, *Fieldbus Foundation*. Такие устройства осуществляют внутреннюю коррекцию получаемого аналогового сигнала; в них могут использоваться протоколы связи типа *HART*, *Modbus* и др. Настройка параметров и режимов работы, диагностика и калибровка интеллектуальных датчиков осуществляется либо локально, либо непосредственно с пульта управления.

Интеллект датчиков обеспечивает выполнение некоторого набора из следующих функций:

- 1) первичная обработка информации в самом датчике;
 - 2) тарировка характеристик для повышения точности измерения;
 - 3) перепрограммирование характеристики преобразования;
 - 4) накопление данных за определенное время с их привязкой к сетке времени для пакетной передачи информации в цифровой форме;
 - 5) самотестирование;
 - 6) формирование выходных данных в унифицированной аналоговой и/или цифровой форме;
 - 7) реализация режима периодической подачи и отключения питания
- и других способов минимизации энергопотребления;
- 8) использование сторожевого таймера для предотвращения потери программного управления;
 - 9) передача данных в цифровой форме по унифицированному радиоканалу.

- Общая структурная схема интеллектуального датчика показана на рис. 9.4.





Измеряемый физический параметр воспринимается чувствительным элементом, на выходе которого возникает электрический сигнал, соответствующий значению параметра. В памяти датчика содержится эталонная (паспортная) характеристика преобразования. При помощи одной из подпрограмм она сравнивается с текущей характеристикой датчика, и по результатам этого сравнения в результат измерения вносится коррекция (поправка). В зависимости от того, в состав какой системы автоматизации входит датчик, используется либо аналоговый выходной сигнал, либо цифровой. Передача цифровых данных осуществляется либо по той же паре проводников, при помощи которой подается напряжение питания и которая используется для передачи выходного аналогового сигнала, либо через общую для ряда датчиков цифровую проводную сеть. В случае значительно-го удаления датчиков от основных средств системы автоматизации датчик с помощью отдельных специальных средств телемеханики может общаться с контроллером по радиоканалу.

Таким образом, по сравнению с обычными, традиционными датчиками современные интеллектуальные датчики обеспечивают:

- 1) резкое уменьшение искажений измерительной информации на пути от датчика к контроллеру ;
- 2) увеличение надежности измерения благодаря самодиагностике датчиков;
- 3) возможность использования принципов измерения, требующих достаточно сложной вычислительной обработки выходных сигналов;
- 4) возможность построения мультисенсорных датчиков ;
- 5) возможность проведения всей необходимой первичной переработки измерительной информации в датчике;
- 6) возможность передачи в систему автоматизации не только текущего значения измеряемой величины, но и добавочных сигналов;
- 7) наличие в датчике базы данных для хранения значений измеряемой величины за заданный длительный интервал времени;
- 8) возможность дистанционно с пульта оператора в оперативном режиме выбрать диапазон измерения датчика, устанавливать ноль прибора;
- 9) возможность путем программирования работы датчика на достаточно простом технологическом языке реализовывать в нем простые алгоритмы регулирования, программного управления, блокировок механизмов;
- 10) возможность строить достаточно простые цепи регулирования, программного управления, блокировок на самом нижнем уровне управления из **трех** компонентов: интеллектуальных датчиков, полевой сети и интеллектуальных исполнительных механизмов.

Элементы промышленной пневмоавтоматики

Пневматической емкостью тела или устройства по аналогии с электрической емкостью можно назвать его способность вмещать (накапливать) некоторое количество воздуха вследствие его сжимаемости.

Универсальная система элементов промышленной пневмоавтоматики (УСЭППА) позволяет строить приборы пневмоавтоматики по принципу электронных приборов. Система состоит из набора унифицированных элементов дискретного и непрерывного действия, каждый из которых выполняет одну простейшую операцию.

УСЭППА включает пневмосопротивления, пневмоемкости, усилители, повторители, пневмореле, сдвоенный обратный клапан, органы управления (задатчики, кнопки, тумблеры), дискретные преобразователи, коммутирующие органы (пневмоклапаны).

На элементах УСЭППА могут быть созданы узлы непрерывного, дискретного и непрерывно-дискретного действия, которые часто встречаются в различных пневматических схемах.

Исполнительные устройства

Исполнительные устройства- это технические средства использования командной информации и воздействия на объект управления

Исполнительное устройство(ИУ) — это силовое устройство, предназначенное для изменения регулирующего воздействия на объект управления в соответствии с сигналом управления, поступающим на его вход от командного устройства . Исполнительное устройство в общем случае

состоит из **двух основных частей: исполнительного механизма (ИМ)**

и **регулирующего органа (РО).**

Исполнительный механизм преобразует входную командную информацию в определенное силовое воздействие на регулирующий орган объекта управления или на сам объект управления.

Регулирующий орган производит непосредственное регулирующее воздействие на объект управления.

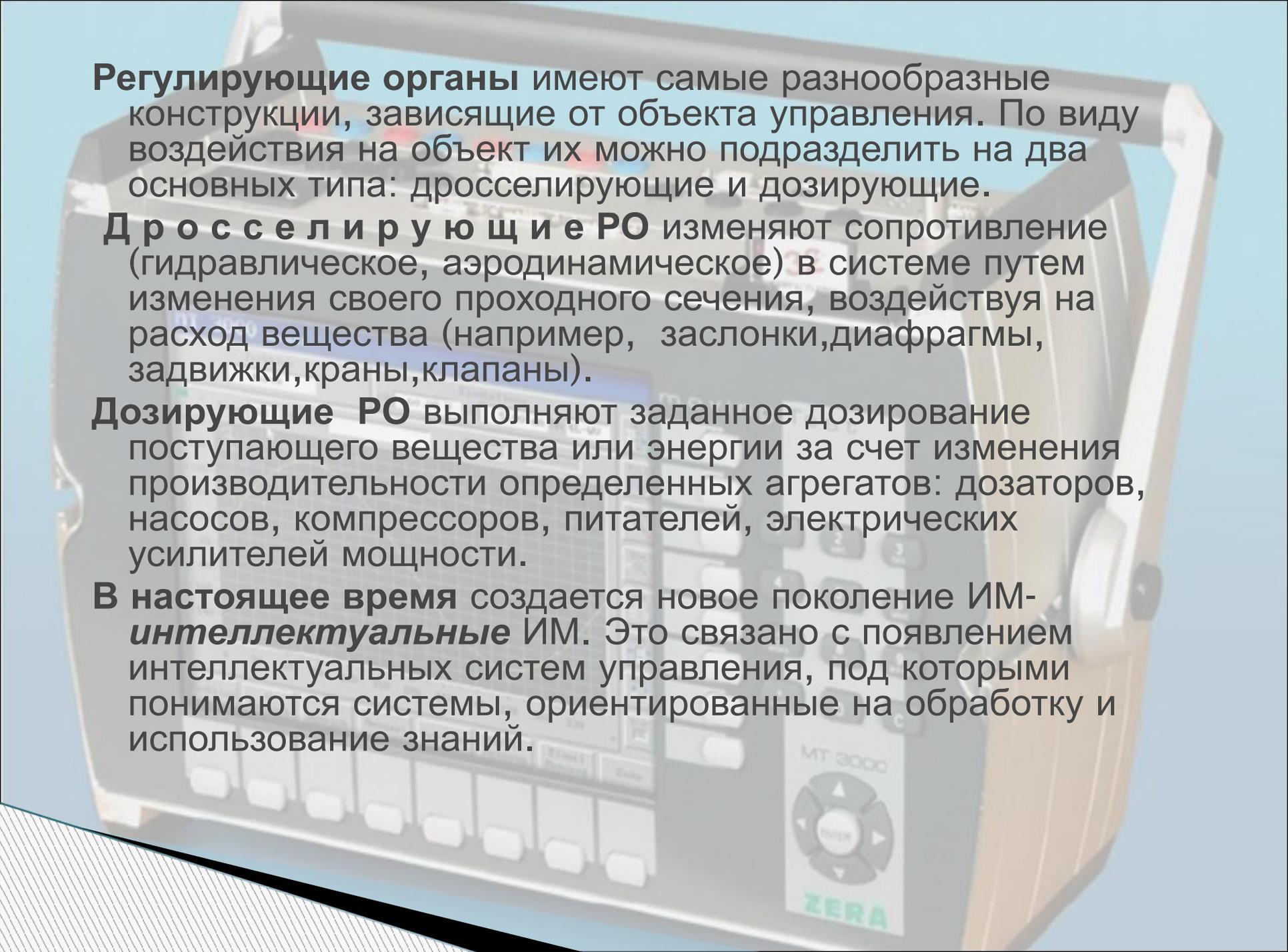
Классификация ИМ по виду энергии, создающей усилие перемещения регулирующего органа: *пневматические, гидравлические и электрические*. В пневматических ИМ усилие перемещения создается за счет давления сжатого воздуха на мембрану, поршень или сильфон; давление обычно не превышает 10^3 кПа.

В гидравлических ИМ усилие перемещения создается за счет давления жидкости на мембрану, поршень или лопасть; давление жидкости в них обычно находится в пределах $(2,5...20) 10^3$ кПа.

Электрические ИМ по принципу действия подразделяются на *электродвигательные* и *электромагнитные*.

Существуют ИМ, в которых используются одновременно два вида энергии: электропневматические, электрогидравлические и пневмогидравлические.

По характеру движения выходного элемента большинство ИМ подразделяются на *прямоходные* с поступательным движением выходного элемента, *поворотные* с вращательным движением до 360° и с вращательным движением на угол более 360° .

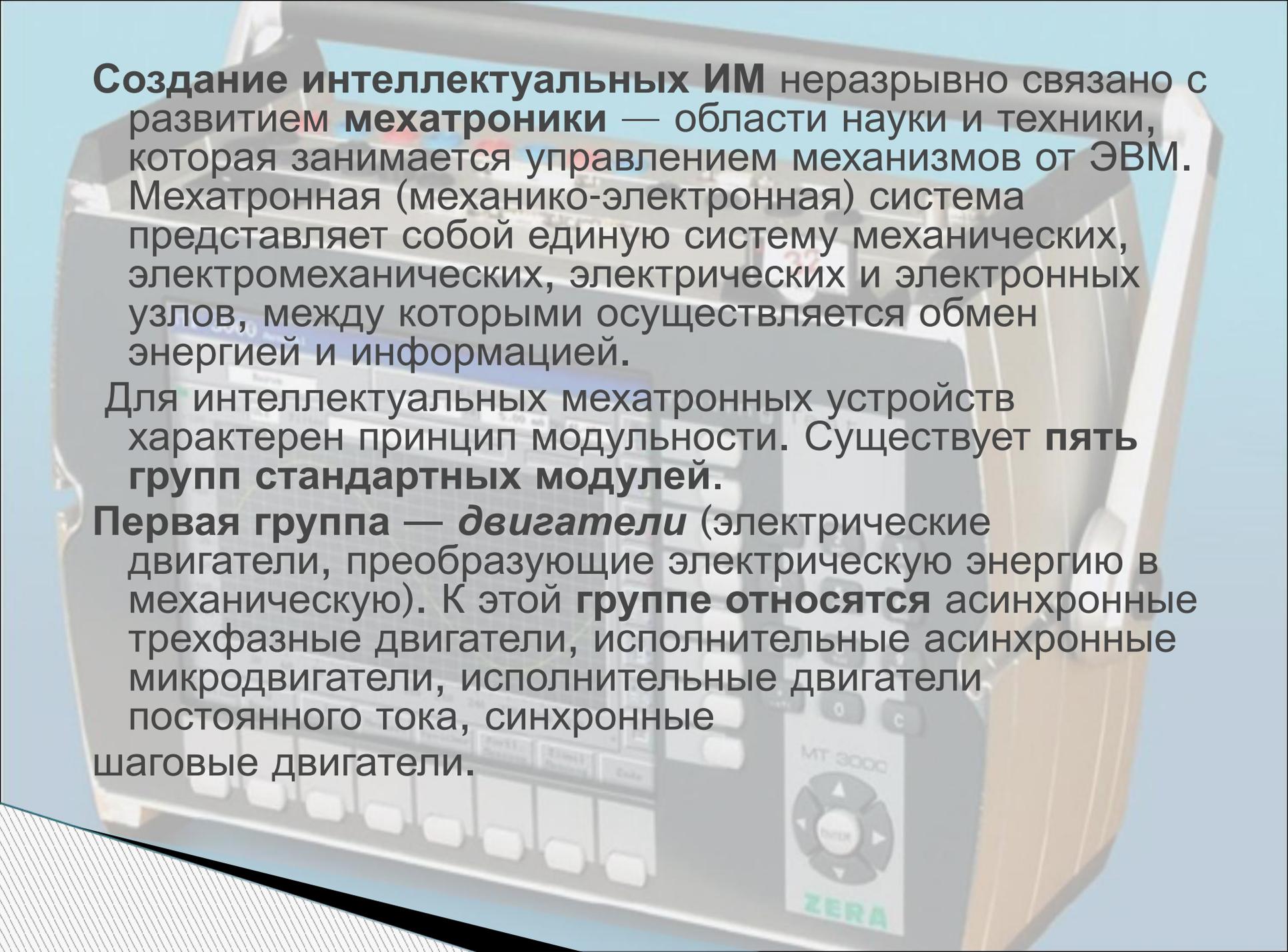


Регулирующие органы имеют самые разнообразные конструкции, зависящие от объекта управления. По виду воздействия на объект их можно подразделить на два основных типа: дросселирующие и дозирующие.

Дросселирующие РО изменяют сопротивление (гидравлическое, аэродинамическое) в системе путем изменения своего проходного сечения, воздействуя на расход вещества (например, заслонки, диафрагмы, задвижки, краны, клапаны).

Дозирующие РО выполняют заданное дозирование поступающего вещества или энергии за счет изменения производительности определенных агрегатов: дозаторов, насосов, компрессоров, питателей, электрических усилителей мощности.

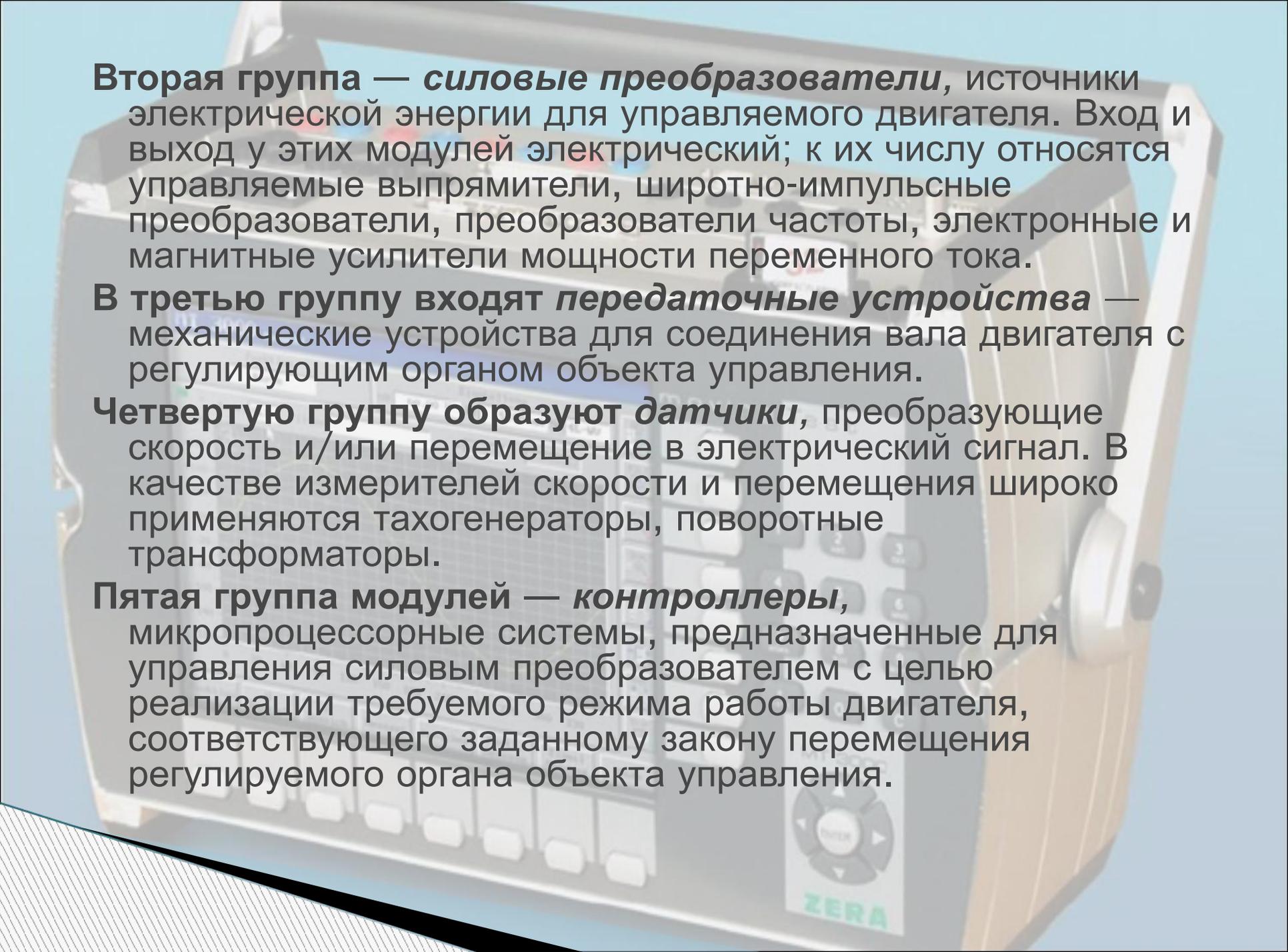
В настоящее время создается новое поколение **ИМ-интеллектуальные ИМ**. Это связано с появлением интеллектуальных систем управления, под которыми понимаются системы, ориентированные на обработку и использование знаний.



Создание интеллектуальных ИМ неразрывно связано с развитием **мехатроники** — области науки и техники, которая занимается управлением механизмов от ЭВМ. Мехатронная (механико-электронная) система представляет собой единую систему механических, электромеханических, электрических и электронных узлов, между которыми осуществляется обмен энергией и информацией.

Для интеллектуальных мехатронных устройств характерен принцип модульности. Существует **пять групп стандартных модулей**.

Первая группа — *двигатели* (электрические двигатели, преобразующие электрическую энергию в механическую). К этой **группе относятся** асинхронные трехфазные двигатели, исполнительные асинхронные микродвигатели, исполнительные двигатели постоянного тока, синхронные шаговые двигатели.



Вторая группа — силовые преобразователи, источники электрической энергии для управляемого двигателя. Вход и выход у этих модулей электрический; к их числу относятся управляемые выпрямители, широтно-импульсные преобразователи, преобразователи частоты, электронные и магнитные усилители мощности переменного тока.

В третью группу входят передаточные устройства — механические устройства для соединения вала двигателя с регулирующим органом объекта управления.

Четвертую группу образуют датчики, преобразующие скорость и/или перемещение в электрический сигнал. В качестве измерителей скорости и перемещения широко применяются тахогенераторы, поворотные трансформаторы.

Пятая группа модулей — контроллеры, микропроцессорные системы, предназначенные для управления силовым преобразователем с целью реализации требуемого режима работы двигателя, соответствующего заданному закону перемещения регулируемого органа объекта управления.

Общие сведения о системах автоматического управления и регулирования

Любой технологический процесс характеризуется совокупностью технологических параметров, значения которых должны принимать заданные значения или изменяться по определенному закону. Например, транспорт нефтепродуктов по трубопроводу производится при определенных значениях давления, температуры, расхода и др.

Физическая величина, подлежащая управлению, называется *управляемой {регулируемой}* величиной $Y(t)$.

Объект управления (ОУ) или объект регулирования (ОР) — устройство, требуемый режим работы которого должен поддерживаться извне специально организованными управляющими воздействиями $U(t)$.

В реальных условиях на объект управления оказывают влияние внешние воздействия $Z(t)$, которые **называются *возмущающими*.**

Управление каким-либо объектом — это процесс воздействия на него с целью обеспечения требуемого течения процесса в объекте или требуемого изменения его состояния.

Управление, осуществляемое без участия человека, называется *автоматическим*. Совокупность ОУ и управляющего устройства (УУ) представляет собой ***систему автоматического управления (САУ)*.**

В САУ используется три основных принципа управления:

- 1) разомкнутое управление;
- 2) управление по возмущению (принцип компенсации);
- 3) управление по отклонению (принцип обратной связи).

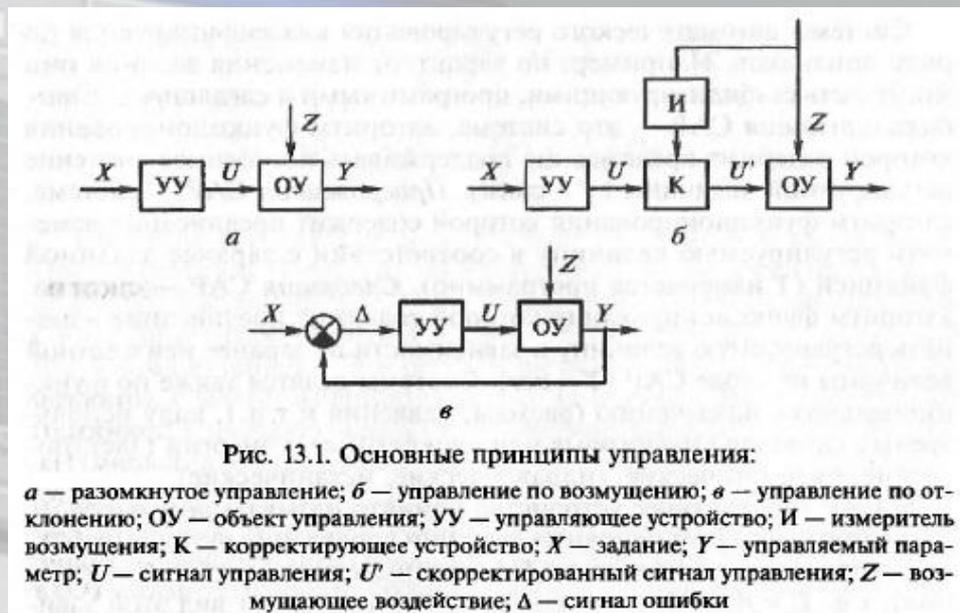
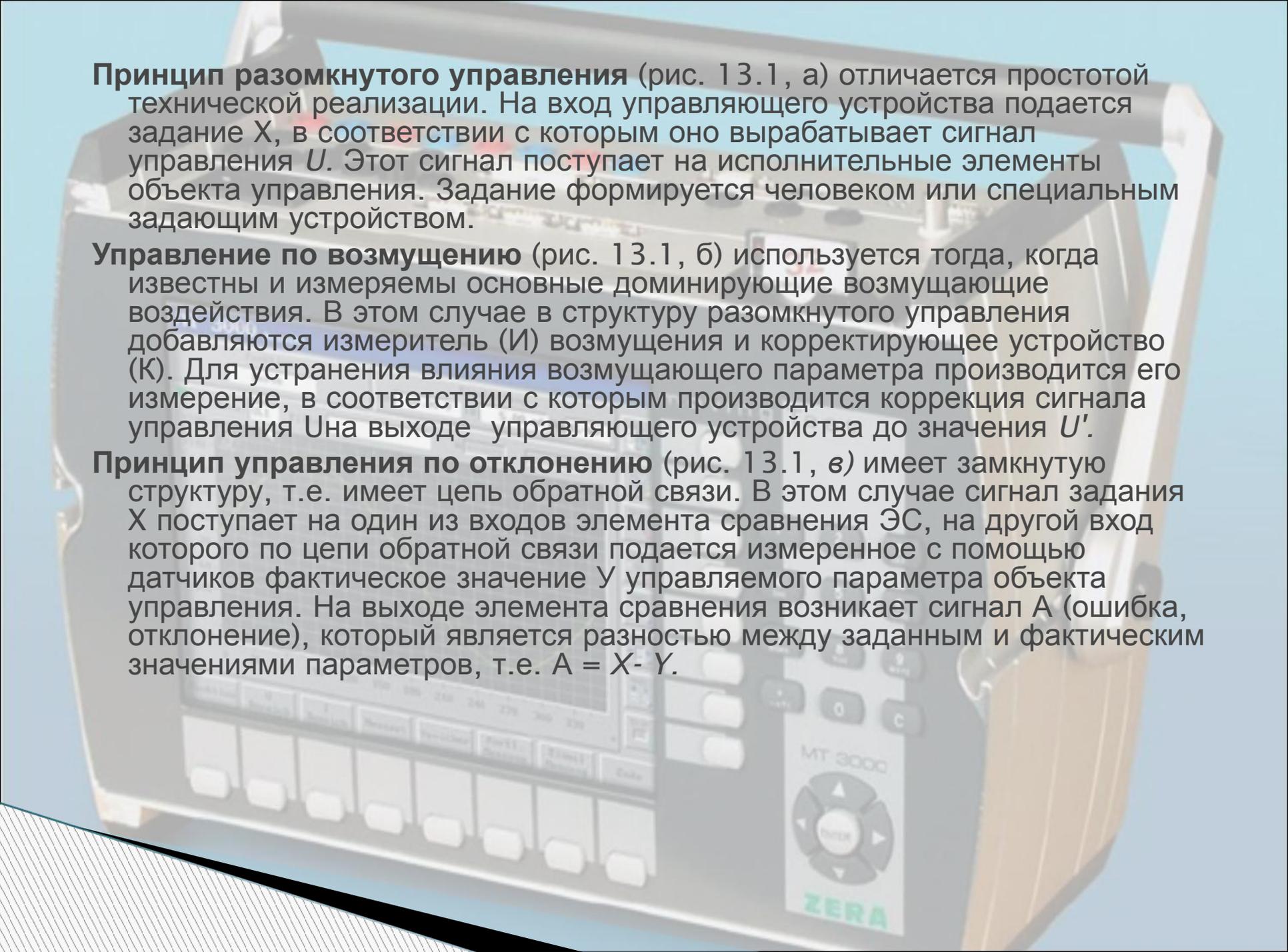


Рис. 13.1. Основные принципы управления:

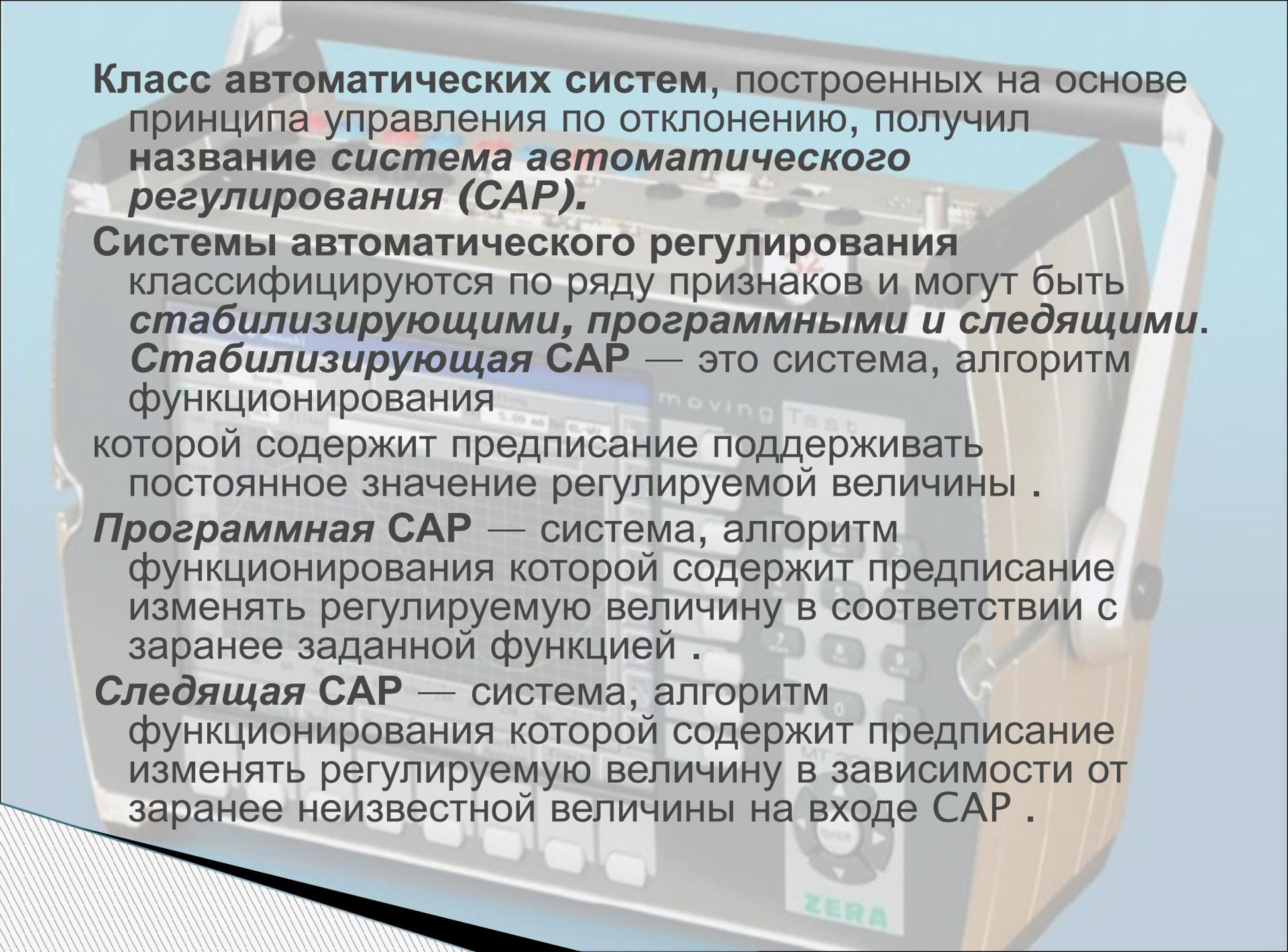
a — разомкнутое управление; $б$ — управление по возмущению; $в$ — управление по отклонению; ОУ — объект управления; УУ — управляющее устройство; И — измеритель возмущения; К — корректирующее устройство; X — задание; Y — управляемый параметр; U — сигнал управления; U' — скорректированный сигнал управления; Z — возмущающее воздействие; Δ — сигнал ошибки



Принцип разомкнутого управления (рис. 13.1, а) отличается простотой технической реализации. На вход управляющего устройства подается задание X , в соответствии с которым оно вырабатывает сигнал управления U . Этот сигнал поступает на исполнительные элементы объекта управления. Задание формируется человеком или специальным задающим устройством.

Управление по возмущению (рис. 13.1, б) используется тогда, когда известны и измеряемы основные доминирующие возмущающие воздействия. В этом случае в структуру разомкнутого управления добавляются измеритель (И) возмущения и корректирующее устройство (К). Для устранения влияния возмущающего параметра производится его измерение, в соответствии с которым производится коррекция сигнала управления $U_{на}$ выходе управляющего устройства до значения U' .

Принцип управления по отклонению (рис. 13.1, в) имеет замкнутую структуру, т.е. имеет цепь обратной связи. В этом случае сигнал задания X поступает на один из входов элемента сравнения ЭС, на другой вход которого по цепи обратной связи подается измеренное с помощью датчиков фактическое значение Y управляемого параметра объекта управления. На выходе элемента сравнения возникает сигнал A (ошибка, отклонение), который является разностью между заданным и фактическим значениями параметров, т.е. $A = X - Y$.



Класс автоматических систем, построенных на основе принципа управления по отклонению, получил название *система автоматического регулирования (САР)*.

Системы автоматического регулирования классифицируются по ряду признаков и могут быть *стабилизирующими, программными и следящими*. *Стабилизирующая САР* — это система, алгоритм функционирования

которой содержит предписание поддерживать постоянное значение регулируемой величины .

***Программная САР* — система, алгоритм функционирования которой содержит предписание изменять регулируемую величину в соответствии с заранее заданной функцией .**

***Следящая САР* — система, алгоритм функционирования которой содержит предписание изменять регулируемую величину в зависимости от заранее неизвестной величины на входе САР .**

По функциональному назначению (расхода, давления и т.п.), виду используемых сигналов (аналоговые или дискретные) и энергии (электрические, пневматические, гидравлические, механические).

В САР управляющее устройство принято называть **регулятором**.

Регулятор выполняет основные функции управления путем выработки управляющего воздействия U в зависимости от ошибки, т.е. $U=f(\Delta)$.

Закон регулирования определяет вид этой зависимости без учета инерционности элементов регулятора. Он может быть **пропорциональным, интегральным, дифференциальным** или представлять **собой комбинацию** этих компонент.

Пропорциональным называется закон регулирования, при котором управляющее воздействие пропорционально сигналу ошибки.

Интегральный закон регулирования — это закон, при котором сигналу ошибки пропорциональна скорость изменения управляющего воздействия.

Дифференциальным называется закон, при котором управляющее воздействие пропорционально скорости изменения сигнала ошибки.

Математическое описание САР

Наиболее распространенным методом описания, анализа и синтеза САР (САУ) является операционный метод (метод операционного исчисления), в основе которого лежат **прямое и обратное преобразования Лапласа**.

При решении задач и выполнении технических расчетов с использованием преобразования Лапласа приходится находить изображение функции по оригиналу и наоборот. Для облегчения расчетов пользуются обычно справочниками, содержащими таблицы функций и их изображения.

Математические модели элементов и систем автоматического регулирования

Любая система, в том числе и САУ, состоит из **элементов (звеньев)**.

Для получения **модели системы** необходимо определить **модели ее элементов**. Элементы и сама система характеризуются входом $x(t)$ и выходом $y(t)$. Входы независимы, они «приходят» из внешней среды. При изменении информации на входе меняется внутреннее состояние и, как следствие, выходы.

Построить модель — это значит найти оператор, связывающий входы и выходы. С его помощью можно предсказать реакцию объекта на любой входной сигнал.

Для упрощения моделей делают следующие **допущения**:

- 1) система и ее элементы обладают свойством стационарности;
- 2) элементы системы являются линейными;
- 3) протекающие процессы являются непрерывными функциями времени при выполнении нулевых начальных условий.

Математические модели могут быть получены теоретически из законов физики (законы сохранения массы, энергии, импульса). Эти модели описывают внутренние связи в объекте и, как правило, наиболее точны.

В общем случае физическая модель линейной системы описывается дифференциальным уравнением следующего вида:

$$a_n \frac{d^n y}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} y}{dt^{n-1}} + \dots + a_0 y = b_m \frac{d^m x}{dt^m} + b_{m-1} \frac{d^{m-1} x}{dt^{m-1}} + \dots + b_0 x, \quad (13.7)$$

где a_j , b_j — постоянные коэффициенты, зависящие от параметров системы.

Передаточная функция является основной математической моделью, полностью описывающей динамические свойства элемента или системы. На основе передаточной функции можно получить ряд частных характеристик системы, исследовать на устойчивость и т.д.



Многие звенья САР независимо от их физической природы описываются одинаковыми дифференциальными уравнениями, следовательно, обладают одинаковыми динамическими свойствами.

Простейшие звенья САР, моделируемые дифференциальными уравнениями не выше второго порядка, называются **типовыми**.

Определение передаточной функции сложной системы, в том числе САР, производится **следующим образом**:

- структура системы разбивается на элементы (звенья), передаточные функции которых либо известны, либо легко определяются;
- последовательно объединяют звенья и определяют передаточные функции объединенных звеньев в зависимости от типа их соединения — последовательного, параллельного и с обратной связью.

Последовательное соединение звеньев — это соединение, при котором выходной сигнал предыдущего звена является входным сигналом для последующего.

Параллельное соединение звеньев — это соединение, при котором входной сигнал всех звеньев одинаков, а выходной сигнал представляет собой сумму выходных сигналов всех звеньев.

Устойчивость систем автоматического регулирования

Устойчивость является одним из необходимых условий, обеспечивающих нормальное функционирование автоматических систем.

В линейных САУ при отклонении регулируемого параметра от заданной величины регулятор воздействует на систему таким образом, чтобы ликвидировать это отклонение.

Если система в результате этого воздействия возвращается в исходное состояние или переходит в другое равновесное состояние, то такая система называется **устойчивой**.

Если же возникают колебания со все возрастающей амплитудой или происходит монотонное увеличение ошибки регулирования, то система называется **неустойчивой**.

Одним из эффективных методов анализа является *критерий Гурвица*, который определяет необходимые и достаточные условия устойчивости системы любого порядка. Составляется матрица $n \times n$ Гурвица по следующим правилам.

Первая строка заполняется коэффициентами характеристического уравнения с нечетными индексами, а вторая — коэффициентами с четными индексами. Дальнейшие строки отличаются от первой пары смещением вправо на один, два, три и так далее столбца. Все коэффициенты с индексами, большими n , заменяются нулями.

Например, для полинома пятой степени $a_0 + a_1 p^1 + a_2 p^2 + a_3 p^3 + a_4 p^4 + a_5 p^5$

матрица Гурвица имеет вид

$$\begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & 0 & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & 0 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & a_5 & 0 \\ 0 & a_0 & a_2 & a_4 & 0 \\ 0 & 0 & a_1 & a_3 & a_5 \end{vmatrix}$$

Показатели качества систем автоматического регулирования

Система автоматического регулирования оценивается устойчивостью, точностью в установившихся режимах и качеством переходных процессов.

Оценки качества регулирования могут быть *прямыми и косвенными*, а также *статическими и динамическими*.

Динамические оценки характеризуют *переходной процесс*, а *статические* — *установившийся режим*.

Реакция (выходной сигнал) системы на единичный скачок называется *переходной характеристикой*. По переходной характеристике определяются основные показатели качества:

- 1) **время регулирования t_p** — интервал времени, по истечении которого отклонение переходной характеристики от установившегося значения не превышает некоторой заданной величины q .
- 2) **перерегулирование** — разность между максимальным значением $h_{\text{пт}}$ переходной характеристики и ее установившимся значением, выраженная в процентах от установившегося значения.
- 3) **колебательность** — число колебаний за время регулирования;
- 4) **статическая ошибка**.

Существует **две разновидности** интегральной оценки качества **SAR**.

Интегральная абсолютная ошибка регулирования .Эта оценка может быть применена только при монотонных переходных процессах при отсутствии колебаний.

Интегральная квадратичная оценка применяется как при монотонных, так и при колебательных переходных процессах.

Недостаток квадратичной интегральной оценки заключается в том, что различные по характеру переходные процессы могут иметь одну и ту же величину оценки.