

# ВВЕДЕНИЕ

## НАЗНАЧЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ

АСУТП (автоматизированная система управления технологическим процессом) работает как замкнутый цикл, собирая данные с оборудования через датчики, обрабатывая их в контроллерах и автоматически управляя исполнительными механизмами (клапаны, насосы) для стабилизации параметров, с возможностью контроля оператором. Она обеспечивает безопасность, повышает эффективность и качество продукции, предотвращая аварии.

Принцип работы АСУТП включает три основных уровня (рис.1):

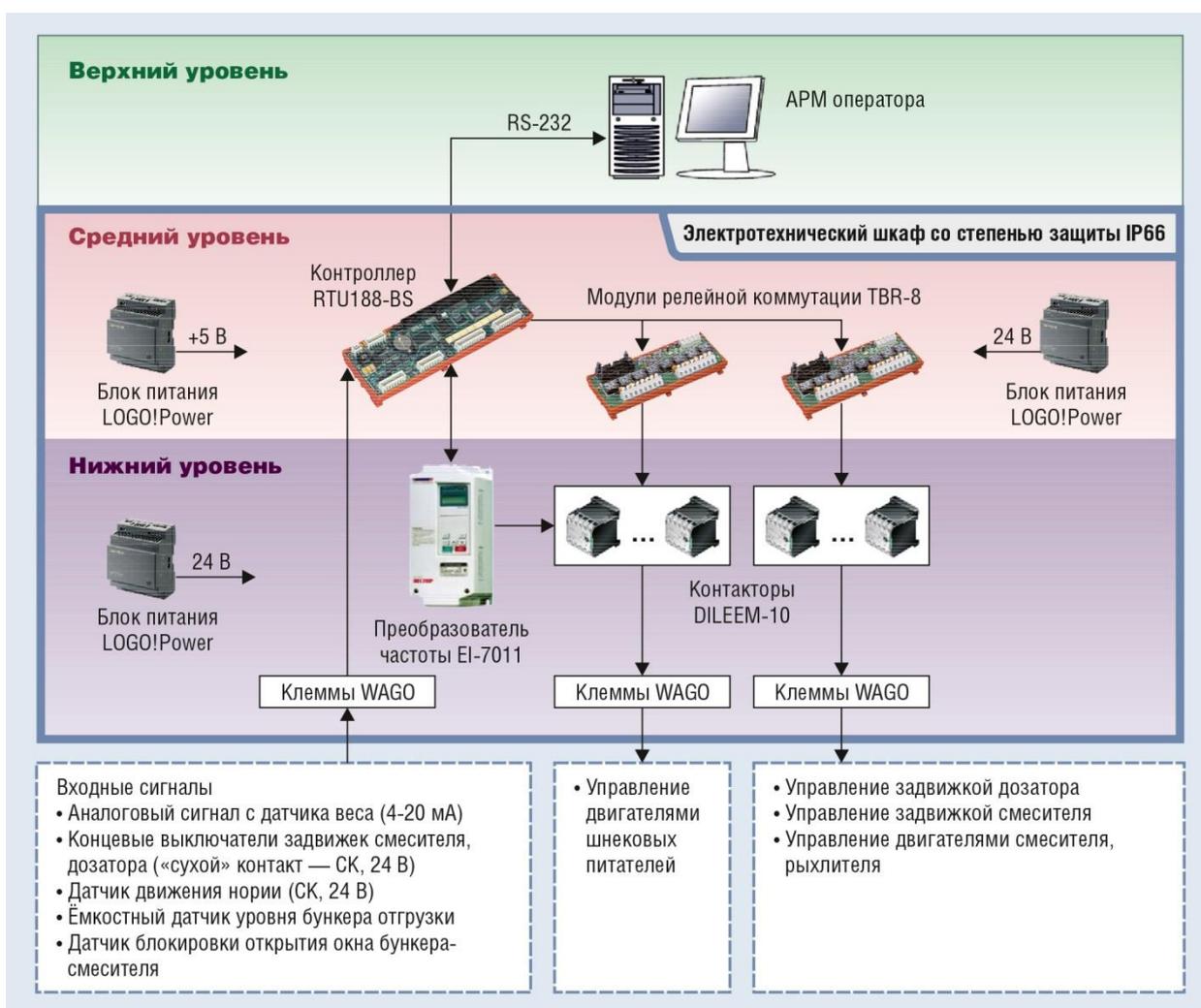


Рисунок 1 – Уровни АСУТП

- *Нижний (полевой) уровень (рис. 2)* наиболее распространенный: Датчики измеряют температуру, давление, уровень и поток, отправляя данные на контроллеры. Исполнительные механизмы выполняют команды.



Рисунок 2 – Пример нижнего (полевого) уровня АСУТП

- *Средний уровень (управление)*: Программируемые логические контроллеры (ПЛК) получают данные, анализируют их согласно алгоритмам и отдают команды (например, открыть клапан).

- *Верхний уровень (мониторинг)*: SCADA-системы и АРМ оператора визуализируют процесс, архивируют данные, позволяют дистанционно управлять процессом и сигнализируют об авариях.

Основные этапы функционирования:

- *Сбор данных*: Непрерывное измерение параметров датчиками.
- *Обработка*: Контроллеры сравнивают текущие данные с заданными режимами.
- *Управление*: Автоматическая корректировка или подача сигнала оператору.
- *Анализ*: Хранение и отчетность для оптимизации производства.

АСУТП позволяет переключить оборудование в безопасный режим при сбоях, исключая человеческий фактор и минимизируя простои.

В составе АСУ имеется много неотделимых компонентов, выполняющих свои функции:

- *Датчики и измерительные средства* – фиксируют параметры технологического процесса (температура, влажность, давление), влияющие на качество работ или выпускаемой продукции.
- *Контроллер или программируемый ПЛК* – это устройство, которое выполняет обработку данных и выдает команды для управления исполнительными узлами. Он управляется от внешнего блока (ПК или NCU) или работает по заложенной программе, хранящейся на карте.
- *Исполнительные механизмы* – реализуют управляющих сигналы (например, запуск насосов). В качестве них выступают частотные преобразователи, модули аналоговых выходов, пусковые компоненты.

- Программы SCADA и MES – обеспечивают визуализацию и анализ данных. Это неотъемлемый компонент системы, обеспечивающий адаптацию управления и контроля.

- Связь или системная шина – это физическая цепь, обеспечивающая обмен данными между устройствами.

*Процесс автоматического регулирования* – это непрерывное автоматическое поддержание заданного значения физической величины (температуры, давления, уровня) без участия человека, основанный на обратной связи. Система обнаруживает отклонение от заданного значения, сравнивает его с нормой (ошибка) и подает команду исполнительному элементу на объект, чтобы устранить это отклонение, нейтрализуя внешние возмущения. Ключевые этапы: измерение параметра, сравнение с заданием, формирование управляющего сигнала и воздействие на объект.

Принцип действия всякой системы автоматического регулирования (САР) заключается в том, чтобы обнаруживать отклонения регулируемых величин, характеризующих работу объекта или протекание процесса от требуемого режима и при этом воздействовать на объект или процесс так, чтобы устранять эти отклонения.

Для осуществления автоматического регулирования к регулируемому объекту подключается автоматический регулятор, вырабатывающий управляющее воздействие на регулируемый орган. Это управляющее воздействие вырабатывается регулятором в зависимости от разности между текущим значением регулируемой величины (температуры, давления, уровня жидкости и т. д.), измеряемой датчиком, и желаемым её значением, устанавливаемым задатчиком. Регулируемый объект и автоматический регулятор вместе образуют систему автоматического регулирования.

Основным признаком САР, является наличие главной обратной связи, по которой регулятор контролирует значение регулируемого параметра.

На рисунке 3 показана блок схема системы регулирования температуры в объекте. Если температура в объекте равна заданной, то сигнал с датчика  $X^1$  равен сигналу с задатчика  $X_0$  и сигнал ошибки на входе регулятора  $e = X^1 - X_0 = 0$ , сигнала на выходе регулятора нет, ИМ не работает и клапан открыт на заданную величину, поддерживая заданную температуру. Если, например, температура в объекте увеличится, увеличится сигнал с датчика  $X^1$ , возникнет ошибка «е», заработает ИМ и, прикроет клапан РО для уменьшения подачи тепла, температура в объекте уменьшится до заданной.

*Исполнительный механизм*, который ещё называют приводом (актуатор), преобразует управляющий сигнал от регулятора в физическое воздействие на объект управления.

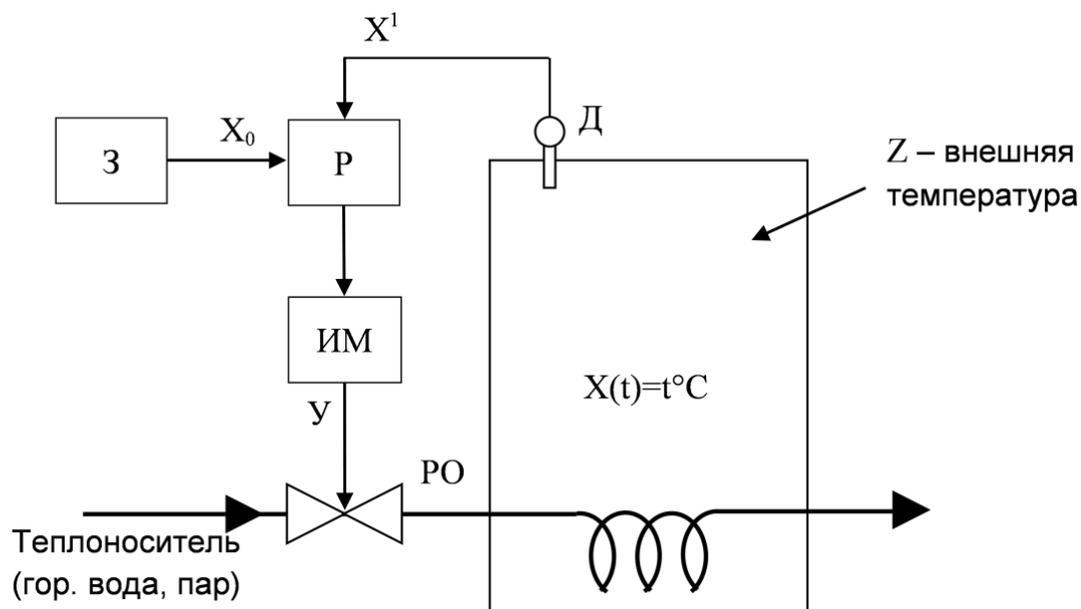


Рисунок 3 – Блок схема системы регулирования температуры

То есть исполнительные механизмы предназначены для оказания непосредственного воздействия на объект управления или регулирования, с целью изменения его состояния.

Исполнительный механизм должен быстро реагировать на сигнал регулятора, обладать достаточной мощностью и быть надежным.

По виду используемой энергии, создающей перестановочное усилие, исполнительные механизмы делятся на:

- электрические;
- пневматические;
- гидравлические.

На рисунке 4 показана классификация наиболее распространенных конструкций исполнительных механизмов.

В пневматических исполнительных механизмах перестановочное усилие создается за счет действия давления сжатого воздуха на мембрану, поршень или сильфон.

Соответственно различают поршневые, мембранные и сильфонные исполнительные механизмы. Они могут быть пружинными и беспружинными. В пружинных механизмах давление сжатого воздуха подводится к одной рабочей полости, причем перестановочное усилие в одном направлении создается силой давления сжатого воздуха, а в обратном – силой упругости сжатой пружины, т.е. значительная часть усилия, создаваемого за счет действия давления, тратится на сжатие пружины.

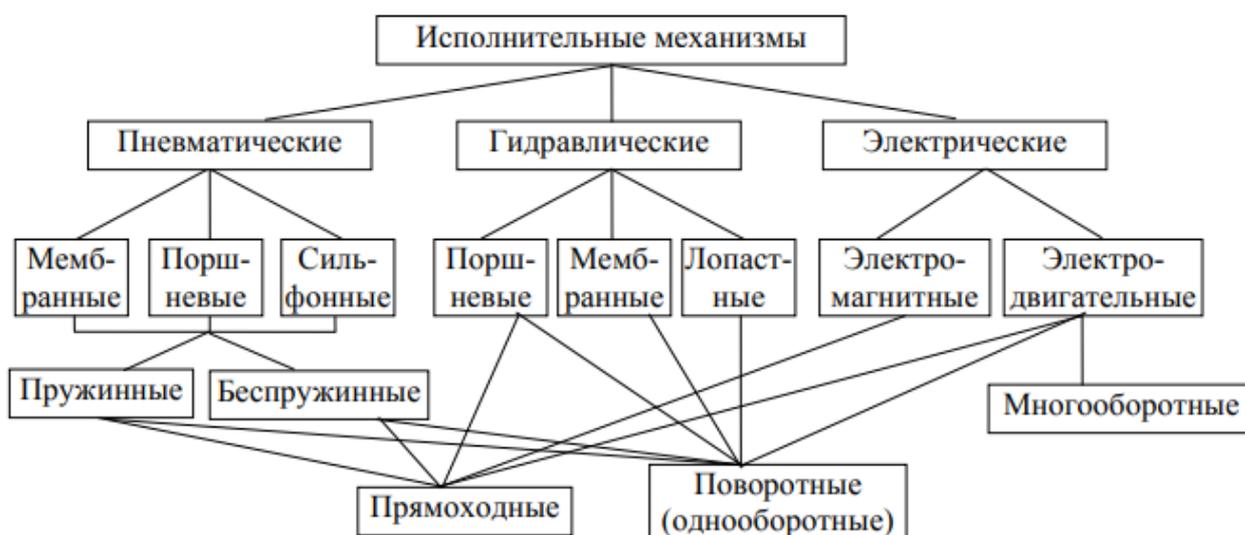


Рисунок 4 – Классификация исполнительных механизмов

От этого недостатка свободны беспружинные исполнительные механизмы, в которых перестановочное усилие в противоположных направлениях создается действием давления с обеих сторон мембраны или поршня (давление с одной стороны возрастает, а с другой уменьшается, или же наоборот). Сильфонные исполнительные механизмы применяются весьма редко и лишь для создания небольших перестановочных усилий. Прямолинейные мембранные пружинные и беспружинные механизмы, дополненные рычажной передачей, обеспечивают поворотное перемещение выходного звена.

Наиболее широко применяются *гидравлические исполнительные механизмы* в виде поршневых механизмов, однако при небольших давлениях жидкости и небольшой длине хода могут применяться мембранные и сильфонные гидравлические исполнительные механизмы. Обычно поршневые гидравлические исполнительные механизмы применяются при давлении жидкости в диапазоне 2,5 – 20 МПа (25 – 200 кгс/см<sup>2</sup>), поэтому они могут развивать большие перестановочные усилия, сохраняя при этом относительно небольшие габариты. Как правило, они не имеют возвратных пружин, т.е. перемещение поршня в обоих направлениях осуществляется силой давления жидкости. Существуют также лопастные гидравлические исполнительные механизмы, в которых выходное звено совершает поворот вокруг своей оси примерно на 250 – 300°, однако применяются они в настоящее время достаточно редко ввиду сложности изготовления и ремонта.

*Электрические исполнительные механизмы* по принципу действия подразделяются на электродвигательные и электромагнитные; электродвигательные исполнительные механизмы, основные параметры которых опреде-

лены ГОСТ 7192–62, по характеру движения выходного звена подразделяются на поворотные (однооборотные), многооборотные и прямоходные. Электромагнитные исполнительные механизмы обеспечивают лишь поступательное перемещение выходного звена. Электромагнитные исполнительные механизмы имеют ограниченное применение: они могут применяться лишь для позиционного регулирования при небольших ходах до 10 – 45 мм и для создания небольших перестановочных усилий. Электрические исполнительные механизмы могут выпускаться в нормальном и взрывоопасном исполнении.

При этом следует отметить, что взрывоопасное исполнение значительно увеличивает габариты, вес и стоимость электрических исполнительных механизмов. Для создания больших перестановочных усилий также применяются гидравлические исполнительные механизмы. Эти механизмы содержат в себе электродвигатели, местную насосную станцию, а также поршневые и вспомогательные устройства.

Исполнительные устройства в зависимости от вида исполнительного механизма называются пневматическими, гидравлическими, электрическими или электрогидравлическими.

## РЕГУЛИРУЮЩИЕ ОРГАНЫ

*Регулирующий орган* это звено исполнительного устройства, представляющее собой переменное гидравлическое (пневматическое, электрическое, магнитное и т.п.) сопротивление и воздействующее на расход (поток) среды (энергии) за счет изменения своего сопротивления, например, за счет изменения проходного сечения и влияющее на состояние технологического параметра объекта управления.

В сельскохозяйственном производстве можно встретить самые разнообразные по своей природе потоки веществ, и для каждого применяется соответствующий его характеру регулирующий орган. Например, управляющим органом в электрическом генераторе может служить обмотка возбуждения, в водонапорной башне – вентиль, управляющий подачей воды, в вентилируемом помещении – задвижка в вентиляционной трубе, в автомобиле – руль и т. д. Управление исполнительными механизмами осуществляется от управляющего устройства через усилители сигналов. Кроме того, непосредственно к исполнительному устройству может подводиться энергия от дополнительного источника.

На рисунке 3 представлена структурная схема управления исполнительным механизмом.

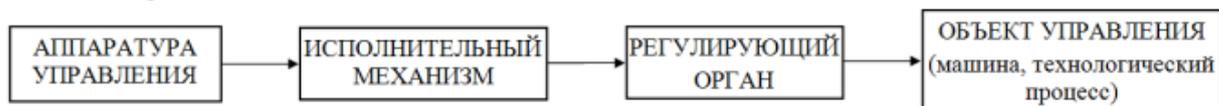


Рисунок 5 – Структурная схема системы управления

Управляющее устройство подает команду на исполнительный механизм (например, электромагнит), который воздействует на регулирующий орган (клапан), в результате изменяется состояние объекта управления (уменьшается подача горячей воды для полива в теплице).

Наиболее часто для непрерывного регулирования применяют следующие типы регулирующих органов (рис. 6), а именно:

а) заслоночные, в которых изменение пропускной способности достигается поворотом затвора (заслонки);

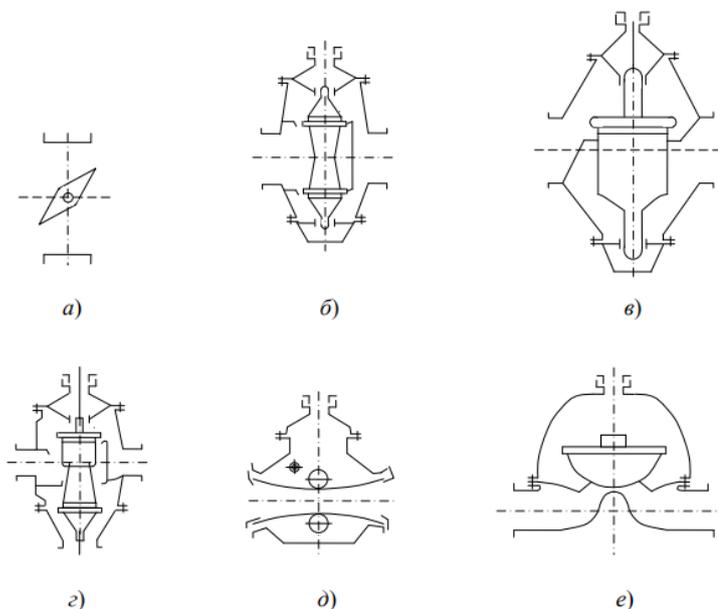


Рисунок 6 – Типы регулирующих органов: а – заслоночные; б – двухседельные; в – односедельные; г – трехходовые; д – шланговые; е – диафрагмовые

б) двухседельные, в которых изменение пропускной способности достигается поступательным перемещением затвора вдоль оси проходов двух седел корпуса;

в) односедельные, в которых изменение пропускной способности достигается поступательным перемещением затвора вдоль оси прохода седла корпуса;

г) трехходовые, в которых пропускная способность изменяется при поступательном перемещении затвора вдоль оси проходов двух седел, и при

этом корпус имеет три соединительных прохода, через которые один поток разделяется на два или два потока соединяются в один;

д) шланговые, в которых изменение пропускной способности достигается изменением проходного сечения упругого патрубка (отрезка шланга);

е) диафрагмовые, в которых изменение пропускной способности достигается поступательным перемещением центра диафрагмы относительно седла. Исполнительные устройства (в зависимости от типа регулирующего органа) называются заслоночными, двухседельными, односедельными, трехходовыми, шланговыми или диафрагмовыми.

Пример реализации простейшей схемы исполнительного устройства показан на рисунке 7, где изображено пневматическое односедельное устройство, состоящее из двух основных блоков: пневматического мембрано-пружинного исполнительного механизма и односедельного регулирующего органа. При изменении (увеличении или уменьшении) давления в рабочей полости 1 подвижная система, преодолевая действие пружины 2, перемещается (вверх или вниз), изменяя пропускную способность регулирующего органа 3 и, следовательно, расход среды через него. Система находится в равновесии, когда усилие, развиваемое мембранным элементом, уравнивается усилием от пружины.

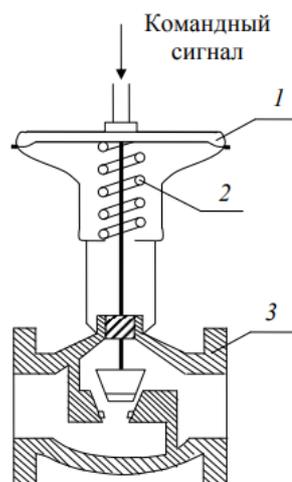
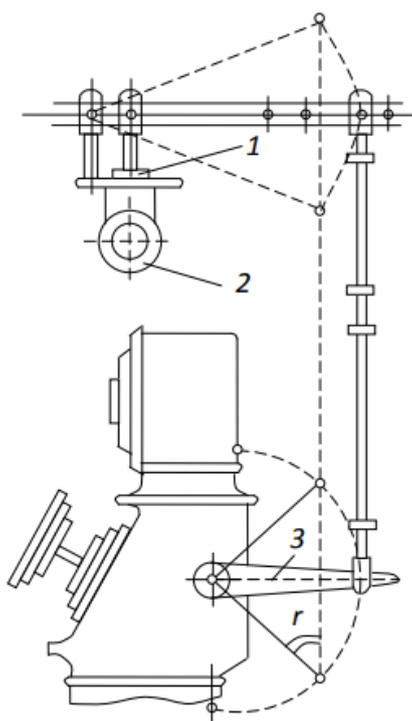


Рисунок 7 – Принципиальная схема одного из типов пневматического исполнительного устройства: 1 – рабочая полость; 2 – пружина; 3 – регулирующий орган

## СОЕДИНЕНИЕ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ С РЕГУЛИРУЮЩИМ ОРГАНОМ

Соединения выходного элемента исполнительного механизма с входным элементом рабочего органа могут быть непосредственными, жесткими или тросовыми. Непосредственное соединение выходного вала (штока) ис-

полнительного механизма с валом или штоком рабочего органа является наиболее простым. Значения перемещений выходного устройства исполнительного механизма и подвижной части рабочего органа при этом способе соединения одинаковы, а скорости равны. Подобные способы сочленения широко применяются при использовании электромагнитных, однооборотных электрических, гидравлических и пневматических исполнительных механизмов, а также многооборотных исполнительных механизмов (электроприводов, гидроприводов и пневмоприводов), приводящих в действие запорную трубопроводную арматуру. Жесткое соединение осуществляется при помощи рычагов или реечных передач. Жесткое соединение может быть как линейным, так и нелинейным. При линейной жесткой связи значения перемещений выходного вала исполнительного механизма и подвижного элемента рабочего органа различаются только масштабом. При нелинейности жесткой связи можно создать неравные перемещения затвора рабочего органа при относительно равных перемещениях выходного элемента исполнительного механизма, а также расширить границы возможных взаиморасположений рабочего органа и механизма.



*Рисунок 8 – Сочленение исполнительного механизма (колонки дистанционного управления КДУ) с регулирующими органами: 1 – шток; 2 – регулирующийся орган; 3 – рычаг выходного вала*

В качестве примера рассмотрим схему сочленения колонки дистанционного управления типа КДУ с регулирующим органом (рис. 8). Сочленение колонки дистанционного управления выбирают таким образом, чтобы полный ход  $S$  штока 1 регулирующего органа 2 обеспечивался поворотом рычага

выходного вала 3 исполнительного механизма на угол  $90^\circ$ . Во избежание заклинивания в крайнем положении угол должен быть не менее  $90^\circ$ . Общим требованием, которое предъявляется к отдельным деталям и узлам, применяемым для сочленения исполнительных механизмов с рабочими органами, является необходимость обеспечения достаточной жесткости соединений и минимальных люфтов в кинематических парах. При этом влияние на качество работы систем управления как упругих деформаций передаточных звеньев, так и зазоров в соединениях, вызывающих небольшие люфты в шарнирах многозвенного сочленения в сумме могут составить до 5 – 10% общего хода рабочего органа и внести таким образом в САР значительную нелинейность. Для обеспечения нормальной работы исполнительных механизмов необходимо руководствоваться монтажно-эксплуатационными инструкциями для данного типа исполнительного механизма, разработанными заводами-изготовителями этих механизмов.

### **Контрольные вопросы**

#### **1. Что понимается под термином «Процесс автоматического регулирования»?**

- непрерывное автоматическое поддержание заданного значения физической величины без участия человека, основанный на обратной связи;
- периодически повторяющийся процесс поддержания заданного значения физической величины без участия человека, основанный на обратной связи;
- периодически повторяющийся процесс поддержания заданного значения физической величины без участия человека;
- непрерывное автоматическое поддержание заданного значения физической величины без участия человека.

#### **2. Назовите принцип действия системы автоматического регулирования (САР).**

- фиксация отклонения регулируемой величины, характеризующей протекание технологического процесса от требуемого режима;
- воздействие на технологический процесс для устранения отклонения регулируемой величины от оптимального значения;
- выявление отклонения регулируемой величины, характеризующей протекание процесса от требуемого режима и воздействие на процесс для устранения этого отклонения.
- реагирование на предельные параметры регулируемого технологического процесса.

### **3. Назовите основной признак САР.**

- наличие второстепенной обратной связи, по которой регулятор поддерживает значение регулируемого параметра;
- наличие главной обратной связи, по которой регулятор контролирует значение регулируемого параметра;
- отсутствие главной обратной связи, по которой регулятор контролирует значение регулируемого параметра;
- наличие главной обратной связи, по которой регулятор блокирует регулируемый параметр технологического процесса.

### **4. Какое устройство автоматики преобразует управляющий сигнал от регулятора в физическое воздействие на объект управления?**

- регулирующий орган;
- датчик;
- исполнительный механизм;
- усилитель.

### **5. Какой тип исполнительного механизма применяется для создания больших перестановочных усилий?**

- пневматический;
- гидравлический;
- электрический;
- электрический и пневматический.

### **6. Звено исполнительного устройства, воздействующее на расход среды (энергии) и влияющее на состояние технологического параметра объекта управления называется ...**

- исполнительным механизмом;
- усилителем
- датчиком;
- регулирующим органом.

### **7. Пружинные исполнительные механизмы относятся к ...**

- пневматическим ИМ;
- гидравлическим ИМ;
- электрическим ИМ;
- электрическим и гидравлическим ИМ.

### **8. Лопастные исполнительные механизмы относятся к ...**

- пневматическим ИМ;
- гидравлическим ИМ;
- электрическим ИМ;
- электрическим и пневматическим ИМ.

### **9. Безпружинные исполнительные механизмы относятся к ...**

- пневматическим ИМ;
- гидравлическим ИМ;
- электрическим ИМ;
- электрическим и гидравлическим ИМ.

**10. Для позиционного регулирования при небольших ходах и перестановочных усилиях применяют ...**

- гидравлические ИМ;
- пневматические ИМ;
- электродвигательные;
- электромагнитные ИМ.

**11. Какое количество уровней включает в себя принцип работы АСУТП?**

- 1;
- 3;
- 4;
- 2.

**12. К какому уровню АСУТП относятся программируемые логические контроллеры (ПЛК)?**

1. среднему (управление);
2. верхнему (мониторингу);
3. низшему (полевому);
4. продвинутому (дифференциальному).

**13. К какому уровню АСУТП относятся SCADA-системы?**

1. среднему (управление);
2. верхнему (мониторингу);
3. низшему (полевому);
4. продвинутому (дифференциальному).

**14. Перечислите основные этапы функционирования АСУТП.**

1. генерация сигнала, усиление, модуляция, расшифровка;
2. преобразование сигнала, передача, усиление, мониторинг;
3. классификация сигнала, модуляция, усиление, передача;
4. сбор данных, обработка, управление, анализ.

**15. К какому виду компонентов АСУТП относятся частотные преобразователи?**

- датчик;
- исполнительный механизм;
- контроллер;
- измерительное средство.