



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Авиационный колледж ДГТУ

**Методические указания**  
к самостоятельной работе  
по дисциплине

**«Автоматические системы  
безопасности»**

Авторы

Смирнов Ю. А.

Ростов-на-Дону, 2019

## Аннотация

Методические указания к самостоятельной работе по дисциплине «Автоматические системы безопасности» предназначены для студентов очной формы обучения направления 15.02.07. Автоматизация технологических процессов и производств.

## Автор



к.т.н., доцент, преподаватель 1-  
категории Авиационного колледжа ДГТУ  
Смирнов Юрий Александрович



## Оглавление

1. Фонд вопросов для рубежного и заключительного контроля знаний .....	4
2. Контрольные задания и пример их выполнения.....	4
Контрольная работа №1 .....	4
Контрольная работа №2 .....	18
3. Решение задач и заданий по автоматизации в рамках самостоятельной работы.....	21
1. АНАЛИЗ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОЦЕССА КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ.....	21
ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПЕРЕМЕННЫХ .....	22
ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ .....	28
2. ВЫБОР КОМПЛЕКСА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ .....	33
2.1. Выбор первичных измерительных преобразователей (датчиков) .....	35
РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СХЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ .....	41
4. Тесты по дисциплине .....	56



## 1. ФОНД ВОПРОСОВ ДЛЯ РУБЕЖНОГО И ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

1. Дайте определение проектирования систем автоматизации.
2. Поясните суть основных этапов проектирования.
3. Какие основные задачи решаются при проектировании?
4. В чем разница между задачами одновариантного и многовариантного анализа?
5. Дайте определение автоматизированной системы управления (АСУ).
6. Дайте определение автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУ ТП).
7. Поясните содержание основных и вспомогательных функций АСУ ТП.
8. Поясните схему процесса проектирования систем автоматизации.
9. Какие стадии создания АСУ ТП Вы знаете?
10. Какие задачи решаются на этапе научно-исследовательских работ?
11. Поясните содержание задачи анализа объекта.
12. Поясните содержание задачи построения математических моделей. Поясните содержание задачи идентификации параметров математических моделей.
13. Сформулируйте постановку задачи оптимального управления объектами.
14. В чем суть декомпозиции задачи оптимального управления?
15. В чем суть расчета автоматических систем регулирования?
16. Поясните постановку задач первичной обработки информации.
17. В чем суть математического моделирования алгоритмов АСУ ТП?
18. Поясните содержание проектных стадий создания АСУ ТП.
19. Поясните содержание послепроjektных стадий создания АСУ ТП.
20. Каковы состав и структура АСУ ТП?
21. Поясните структуру автоматизированного технологического комплекса АСУ ТП.
22. Каков состав информационного обеспечения АСУ ТП?
23. Каков состав программного обеспечения АСУ ТП?
24. Дайте определение системы автоматизированного проектирования (САПР).
25. Какие виды компонентов САПР Вы знаете?  
Какие виды обеспечения САПР Вы знаете?

## 2. КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ И ПРИМЕР ИХ ВЫПОЛНЕНИЯ

### Контрольная работа №1

#### Задание 1.1.

Для объекта управления, состоящего из общецеховых магистралей и красильного аппарата с химической станцией (см. рис. 1), составьте фрагмент функциональной схемы контроля параметров общецеховых магистралей (тип технологических параметров для каждого варианта представлен в табл. К1).

**Задание 1.2.**

Для общецеховых магистралей (см. рис. 1) составьте принципиальные электрические схемы контроля технологических параметров (см. табл. К1, столбец "Параметры общецеховых магистралей").



Рис. 1. Принципиальная схема красильной машины.



1. Автоматический выключатель типа АП50 имеет кратность тока уставки расцепителей  $I_{уст}/I_{ном.расц} = 8$ , значение номинального тока расцепителей  $I_{ном.расц}$  для вариантов заданий приведено в табл. К2. Требуется определить возможные действительные токи отключения автомата при срабатывании электромагнитных расцепителей.

2. Ток нагрузки цепи, защищаемой автоматическим выключателем АП50 с тепловыми расцепителями на ток  $I_{ном.расц}$  (см. табл. К2), возрос с номинального значения до  $I = 5 I_{ном.расц}$ . Определите время отключения цепи автоматом с момента возрастания нагрузки

3. Автоматический выключатель АП50 имеет тепловые и электромагнитные расцепители. Номинальный ток электромагнитных расцепителей  $I_{ном.расц}$  представлен в табл. К2. Ток уставки  $I_{уст} = 3,5 I_{ном.расц}$ . Определите время отключения автоматического выключателя при возрастании тока нагрузки до  $I = 2 I_{ном.расц}$ .

4. Ток нагрузки автоматического выключателя возрос от номинального значения до  $I = 3,125 I_{ном.расц}$ . Определите, через какое время автоматический выключатель отключится.

Таблица К1

**Тип технологических параметров общецеховых магистралей**

№ варианта	Параметры общецеховых магистралей
1	Температура, давление, расход пара
2	Давление, расход городской воды
3	Давление, расход артезианской воды
4	Расход горячей воды
5	Расход активной электроэнергии
6	Температура, давление, расход пара
7	Давление, расход городской воды
8	Давление, расход артезианской воды
9	Расход горячей воды
10	Расход активной электроэнергии

Таблица К2.

**Значения номинального тока расцепителей**

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$I_{ном.расц}, А$	2.5	4	6.4	10	16	25	40	1.6	6.4	16

5. Пускатель серии ПМЕ с тепловыми реле типа ТРН включает электродвигатель с номинальным током  $I_{ном}$  (см. табл. К3). Значение

тока нулевой уставки теплового реле  $I_0$  дано в табл. К3. Пускатель имеет открытое исполнение. Температуру окружающей среды принять для четных вариантов  $25^{\circ}\text{C}$ , для нечетных вариантов  $40^{\circ}\text{C}$ . Определите положение механизма регулировки тока уставки на шкале теплового реле.

Таблица К3.

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$I_{\text{ном}} \text{ A}$	5	6,3	8	10	12,5	16	20	25	8	10
$I_0, \text{ A}$	7,5	6,3	12	12	12,5	32	45	30	16	10

### Пример выполнения контрольной работы №1

#### Задание 1.1.

Функциональные схемы являются основным техническим документом, определяющим функционально-блочную структуру отдельных узлов автоматического контроля, управления и регулирования технологического процесса и оснащение объекта управления приборами и средствами автоматизации (в том числе средствами телемеханики и вычислительной техники).

Результатом составления функциональных схем являются:

- 1) выбор методов измерения технологических параметров;
- 2) выбор основных технических средств автоматизации, наиболее полно отвечающих предъявляемым требованиям и условиям работы автоматизируемого объекта;
- 3) определение приводов исполнительных механизмов регулирующих и запорных органов технологического оборудования, управляемого автоматически или дистанционно;
- 4) размещение средств автоматизации на щитах, пультах, технологическом оборудовании и трубопроводах и т.п. и определение способов представления информации о состоянии технологического процесса и оборудования.

Приборы, средства автоматизации, электрические устройства и элементы вычислительной техники на функциональных схемах показываются в соответствии с ГОСТ 21.404-85 и отраслевыми нормативными документами.

Функциональная схема выполняется в виде чертежа, на котором схематически условными изображениями показывают: технологическое оборудование, коммуникации, органы управления и средства автоматизации с указанием связей между технологическим

оборудованием и средствами автоматизации, а также связей между отдельными функциональными блоками и элементами автоматики.

Функциональные схемы автоматизации могут быть выполнены двумя способами: с условным изображением щитов и пультов управления в виде прямоугольников (как правило, в нижней части чертежа), в которых показываются устанавливаемые на них средства автоматизации; с изображением средств автоматизации на технологических схемах вблизи отборных и приемных устройств, без построения прямоугольников, условно изображающих щиты, пульта, пункты контроля и управления.

При выполнении схем по первому способу на них показываются все приборы и средства автоматизации, входящие в состав функционального блока или группы, и место их установки. Преимуществом этого способа является большая наглядность, в значительной степени облегчающая чтение схемы и работу с проектными материалами.

Приборы и средства автоматизации, встраиваемые в технологическое оборудование и коммуникации или механически связанные с ними, изображают на чертеже в непосредственной близости от них. К таким средствам автоматизации относятся отборные устройства давления, уровня, состава вещества, датчики, воспринимающие воздействие измеряемых и регулирующих величин (измерительные сужающие устройства, ротаметры, счетчики, термометры расширения и т.п.), исполнительные механизмы, регулирующие и запорные органы.

Прямоугольники щитов и пультов следует располагать в такой последовательности, чтобы при размещении в них обозначений приборов и средств автоматизации обеспечивалась наибольшая простота и ясность схемы и минимум пересечений линий связи.

В прямоугольниках можно указывать номера чертежей общих видов щитов и пультов. В каждом прямоугольнике с левой стороны указывают его наименование.

Приборы и средства автоматизации, которые расположены вне щитов и не связаны непосредственно с технологическим оборудованием и трубопроводами, условно показывают в прямоугольнике "Приборы местные".

Контуры технологического оборудования на функциональных схемах рекомендуется выполнять линиями толщиной 0,6-1,5 мм; трубопроводные коммуникации 0,6-1,5 мм; приборы и средства автоматизации 0,5-0,6 мм; линии связи 0,2-0,3 мм; прямоугольники, изображающие щиты и пульта, 0,6- 1,5 мм.

Подвод линий связи к символу прибора допускается изображать в любой точке окружности (сверху, снизу, сбоку). При необходимости указания направления передачи сигнала на линиях связи допускается наносить стрелки.

Пример выполнения функциональной схемы автоматизации общецеховых параметров по первому способу дан на рис. 2.

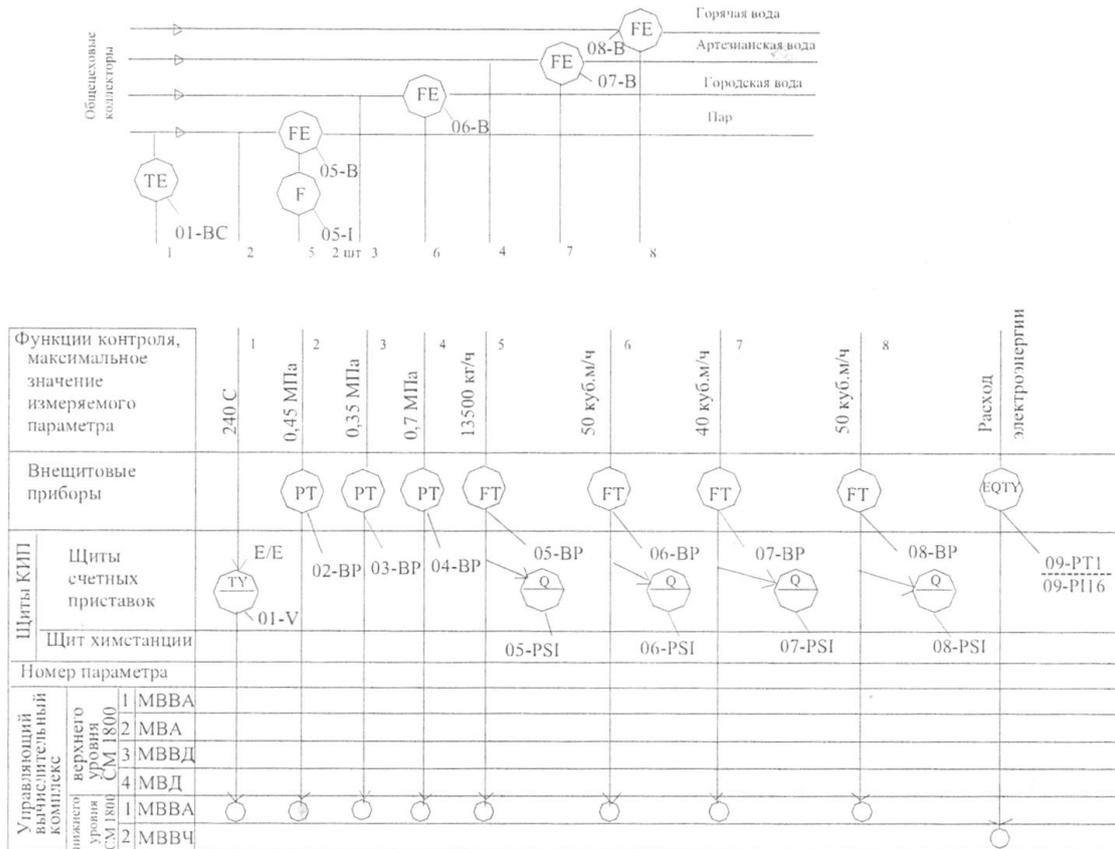


Рис. 2. Функциональная схема автоматизации (контролируются общецеховые параметры).

На этих схемах использованы следующие буквенные обозначения: *T* - температура; *E* - любая электрическая величина (напряжение, ток); *E* - расход; *PT* - прибор для измерения давления бесшкальный, с дистанционной передачей показаний; *PT* - прибор для измерения расхода бесшкальный, с дистанционной передачей показаний; (*2* - интегрирование, суммирование; *TU*

– преобразователь сигналов, входной и выходной сигналы - электрические; *E/E* - преобразователь электрических сигналов; *b* - уровень; */* - показание; *bT* - преобразователь уровня с дистанционной передачей показаний; *PU* - преобразователь сигналов; *E/P* - преобразователь электропневматический; *H*

– ручное дистанционное управление; *HE* - пневмотумблер; *M5* - включение, отключение привода машины.

Все элементы схемы имеют позиционные обозначения (буквенно-цифровые), предназначенные для записи сведений об элементах схем: *BC* - термопреобразователь сопротивления; *B* - диафрагма; *I* - сосуды конденсационные; *V* - преобразователи неэлектрических величин в электрические; *BP* - дифманометр бесшкальный; *P31* - измерительный прибор интегрирующий; *P1* - счетчик электрический; *ВИ* - датчик уровня; *M*

исполнительный механизм; *PA* - амперметр; *PAH* - амперметр сигнализирующий; *BX* - преобразователь; *2* - задатчик; *б<sup>1</sup>* - пневмотумблер; *H* - световое табло; *^* - электрический звонок; *KM* - магнитный пускатель.

Устройства связи с объектом (*У СО*) представляют собой специализированные по типу обрабатываемой информации или сигналов технические средства, построенные по модульному принципу, к которым в основном относятся: модуль ввода аналоговой информации (*МВВА*), модуль вывода аналоговой информации (*МВА*), модуль ввода число-импульсных сигналов (*МВВЧ*), модуль ввода дискретной информации (*МВВД*), модуль вывода дискретной информации (*МВД*).

Поясним смысл цифровых обозначений на примере преобразователя сигналов: *ПУ* - функциональный признак, отражает функции прибора, условное обозначение которого используется только на функциональной схеме автоматизации; *1M5-BX* - позиционное обозначение, в котором *1* - номер красильной машины, *15* - порядковый номер измерительного прибора, *BX* - преобразователь; *E/P* - входной сигнал электрический *E*, выходной пневматический *P*.

### **Задание 1.2.**

Принципиальные электрические схемы определяют полный состав приборов, аппаратов и устройств (а также связей между ними), действие которых обеспечивает решение задач управления, регулирования, защиты, измерения и сигнализации.

Схемы автоматизации составляются на основе принципиальных схем для отдельных параметров. Порядок рассмотрения принципиальных схем должен соответствовать переходам на функциональной схеме слева направо от одной схемы к другой.

Рассмотрим принципиальные схемы контроля температуры, давления и расхода пара в трубопроводе, а также контроля расхода активной

электроэнергии, поступающей на ввод красильно-отделочного производства (см. рис. 3).

В табл. К5 приведены характеристики средств измерения общецеховых  
Таблица К5.

**Характеристики средств измерения общецеховых параметров**

Позиция по рис. 2	Измеряемые параметры	Вид сигнала	Уровень сигнала	Тип датчика или приемника
01-BC	Температура пара в трубопроводе	Аналоговый	7,95-145,85 Ом	ТСП-5071 5Ц2.821 310-01
02-ВР	Давление пара в трубопроводе	В	0-5 мА	МПЭ-МИ
03-ВР	Давление городской воды в трубопроводе	В	0-5 мА	МПЭ-МИ
04-ВР	Давление артезианской воды в трубопроводе	и	0-5 мА	МПЭ-МИ
05-ВР	Расход пара	с с	0-5 мА	ДМЭР-М
06-ВР	Расход городской воды	сс	0-5 мА	ДМЭР-М
07-ВР	Расход артезианской воды	и	0-5 мА	ДМЭР-М
08-ВР	Расход горячей воды	и	0-5 мА	ДМЭР-М
09-Р11	Расход активной энергии	Число-импульсный	Сухой контакт	САЗ-И670Д

Контроль температуры пара в трубопроводе (см. рис. 2) осуществляется термопреобразователем сопротивления ТСП-5071 (см. табл. К5), поз. 01-BC. Изменение сопротивления, пропорциональное изменению температуры пара, преобразуется преобразователем ПТ-ТС-68, поз. 01-V (см. рис. 3,в), в пропорциональный сигнал постоянного тока, далее через резистор поз. 01-K подается на вход 3 модуля ввода аналоговых сигналов МВБ А, входящего в КТС.

В принципиальной схеме средства ТСП-5071, ПТ-ТС-68, МВВА представлены в виде квадратов, внутри которых изображены клеммы. Цифры 7, 8, 9, 10, 11 обозначают маркировку электрических цепей, а ~ 220 В - напряжение питания средств автоматизации. Указанные условные обозначения аналогичны для последующих принципиальных схем с введением других буквенных и цифровых обозначений.



Элементы принципиальных схем как резисторы, поз. *01-К*, а также стабилитроны, реле, диоды на схеме автоматизации опущены (см. рис. 2).

Давление пара (см. рис. 3,б) контролируется манометром пружинным электрическим малогабаритным МПЭ-МИ, поз. *02-ВР*, выходной сигнал которого через резистор *02-К* подается на вход модуля ввода аналоговых сигналов МВВА, входящего в КТС.

Расход пара контролируется дифманометром - расходомером мембранным электрическим малогабаритным ДМЭР-М, поз. *05-ВР* (см. табл. К5), выходной сигнал которого разветвляется (см. рис. 3,а) посредством стабилитронов КС 150, *05-У1 ... 05-У3*, на два параллельных сигнала. Один сигнал подается на интегратор С-1М, поз. *05-Р81*, для визуального учета расхода пара, второй - через резистор, поз. *05-К*, на вход /модуля аналоговых сигналов, входящего в КТС. Измерение давления, расхода в трубопроводах горячей, артезианской и городской воды аналогично описанным схемам.

В принципиальной схеме контроля расхода активной электроэнергии, поступающей (см. рис. 3,г) на ввод красильно-отделочного производства, импульсный сигнал электрического счетчика САЗ-И670Д, поз. *09-Р11*, снимается с резистора, поз. *09-К1*, в виде импульсного сигнала и подается на вход 1 модуля ввода сигналов МВВЧ, входящего в КТС. Количество точек контроля расхода активной электроэнергии определяется количеством вводов (на рис. 3,г показано два ввода) электроэнергии на производство.

### **Задание 1.3.**

Аппаратура управления и защиты, устанавливаемая в системе электропитания приборов и средств автоматизации, должна обеспечивать включение и отключение электроприемников и участков сетей в нормальном режиме работы, надежное отсоединение электроприемников и линий для ревизий и ремонтных работ, защиту от всех видов коротких замыканий и от перегрузки в тех случаях, когда она требуется.

К аппаратам управления и защиты относятся пакетные выключатели, рубильники, тумблеры, Предохранители, автоматические выключатели.

Автоматические выключатели АП50 предназначены для применения в цепях переменного тока частотой 50 или 60 Гц, напряжением до 500 В и постоянного тока напряжением до 220 В,

выпускаются с электромагнитными (М), тепловыми (Т) и комбинированными (МТ) расцепителями на токи от 1,6 до 50 А.

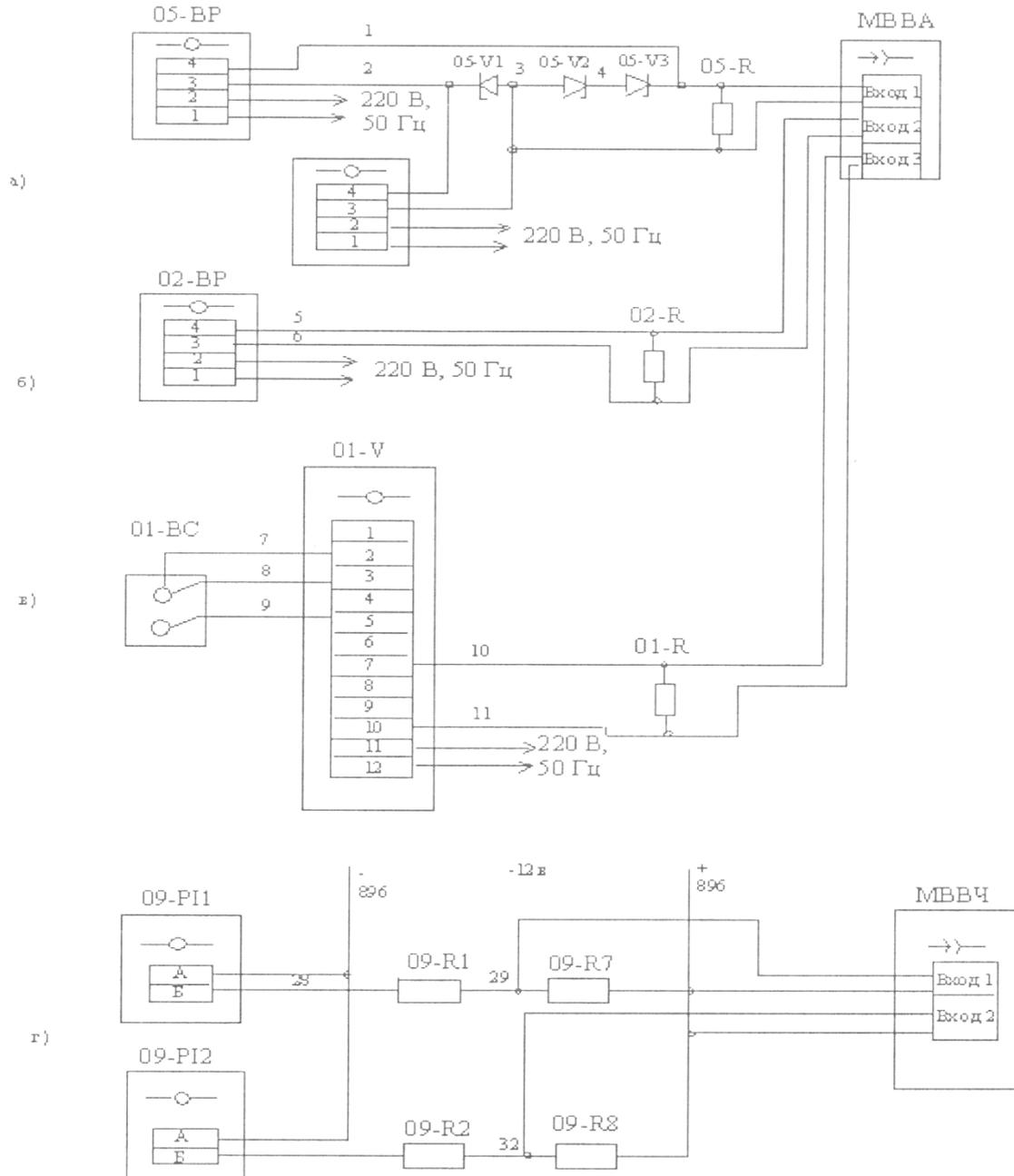


Рис. 3. Принципиальные\* электрические схемы контроля температуры (в), давления (б), расхода пара (а) и активной электроэнергии (г).

Электромагнитные расцепители имеют устройство со шкалой для регулирования степени сжатия пружины расцепителя, что позволяет изменять ток мгновенного срабатывания автомата. Уставка тепловых расцепителей также может регулироваться в пределах (0,6 - г 1)  $I_{ном.расц}$  с помощью рычага по специальной шкале. Данные

расцепители могут иметь кратность тока уставки  $I_{уст}/I_{ном.расц} \sim 3,5$ ; 8;

11. Однако колебания действительного тока срабатывания электромагнитных расцепителей лежат в пределах  $+15\% I_{уст.эл.магн}$ . Тепловые расцепители этих автоматов не срабатывают в течение 1 ч при токе  $1,05 I_{ном.уст.тепл}$  и гарантированно срабатывают при токе  $1,35 I_{ном.уст.тепл}$  за время не более 30 мин, а при токе  $6 I_{ном.уст.тепл}$  за 1,5-10 с (при срабатывании из холодного состояния). Время мгновенного срабатывания автомата лежит в пределах 0,017 - 0,02 с.

На рис. 4 - 11 приведены времятоковые характеристики наиболее широко применяемых в схемах автоматизации автоматических выключателей АП50 [8]. Цифры на рисунках означают:

1 - зона срабатывания электромагнитных расцепителей; 2 - зона возможного срабатывания электромагнитных расцепителей при  $I_{уст}/I_{ном.расц} \sim 3,5$ , где  $I_{уст}$  - ток уставки; 3 - зона возможного срабатывания электромагнитных расцепителей при  $I_{уст}/I_{ном.расц} = 8$ ; 4 - зона возможного срабатывания электромагнитных расцепителей при  $I_{уст}/I_{ном.расц} = 11$ .

Предположим, кратность тока уставки расцепителей  $I_{уст}/I_{ном.расц} \sim 8$ , номинальный ток расцепителей  $I_{ном.расц} \sim 1,6$  А. Из рис. 5 находим, что электромагнитные расцепители безусловно мгновенно срабатывают при токах  $I > 9,6 I_{ном.расц} \sim 9,6 * 1,6 = 15,3$  А. При токах  $I < 6,4 I_{ном.расц} = 6,4 * 1,6 = 10,2$  А автоматический выключатель не отключается (зона 3 на рис. 5).

Предположим, ток нагрузки возрос с номинального значения до  $I =$

$5 * I_{ном.расц}$ . Из рис. 5 находим, что автомат отключается вследствие срабатывания тепловых расцепителей спустя  $7,5 < t_{ср} < 15$  с, т.е. автоматический выключатель обязательно должен отключиться через 15 с. Возможно, автоматический выключатель будет отключен и раньше, но не быстрее чем через 7,5 с.,

3-  $I_{ном.расц}$  Ц6 А. ТОК уСТАВКИ  $I_{уст} 3,5 I_{ном.расц} - I 3,2$  А.

Определяем кратность тока нагрузки номинальному току расцепителя  $I_{нои.расц} = 3,2/1,6 = 2$ . Из рис. 5 находим, что при  $I = 3,2$  А автоматический выключатель отключится от тепловых расцепителей спустя  $60 < t_{ср} < 160$  с.

Автоматические системы безопасности

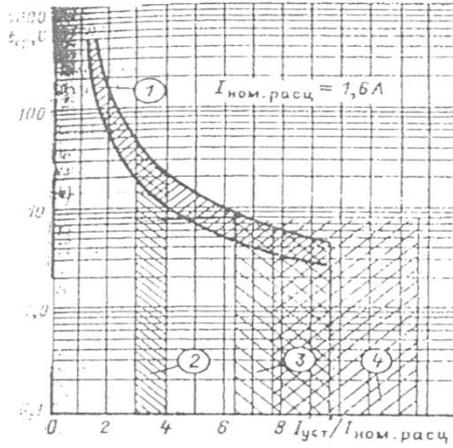


Рис. 4. Времятоковые характеристики автоматических выключателей серии АП50-ЗМТ на номинальный ток 1,6 А

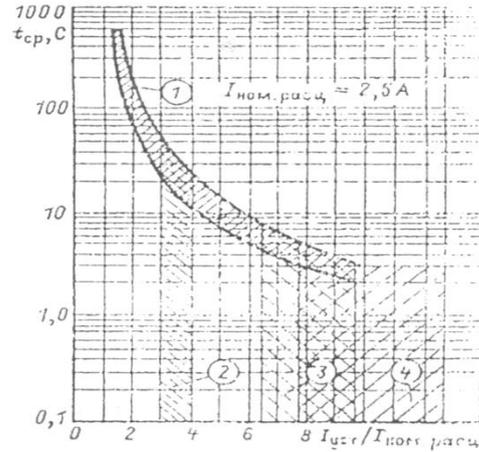


Рис. 5. Времятоковые характеристики автоматических выключателей серии АП50-ЗМТ на номинальный ток 2,5 А,

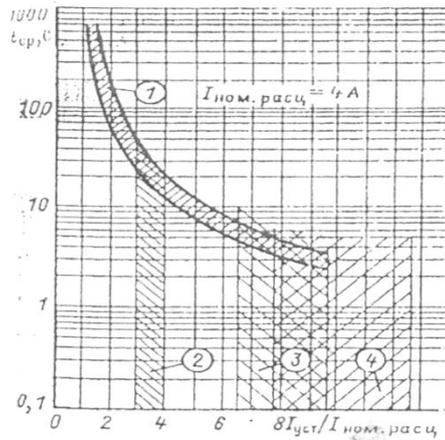


Рис. 6. Времятоковые характеристики автоматических выключателей серии АП50-ЗМТ на номинальный ток 4 А

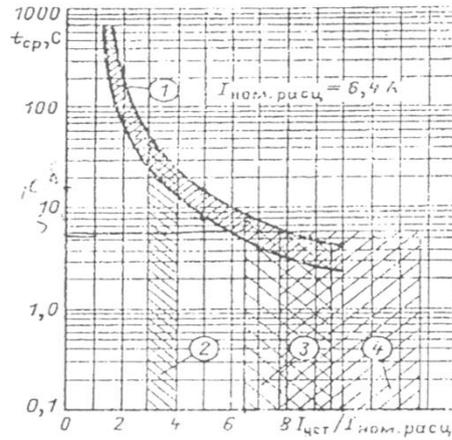


Рис. 7. Времятоковые характеристики автоматических выключателей серии АП50-ЗМТ на номинальный ток 6,4 А

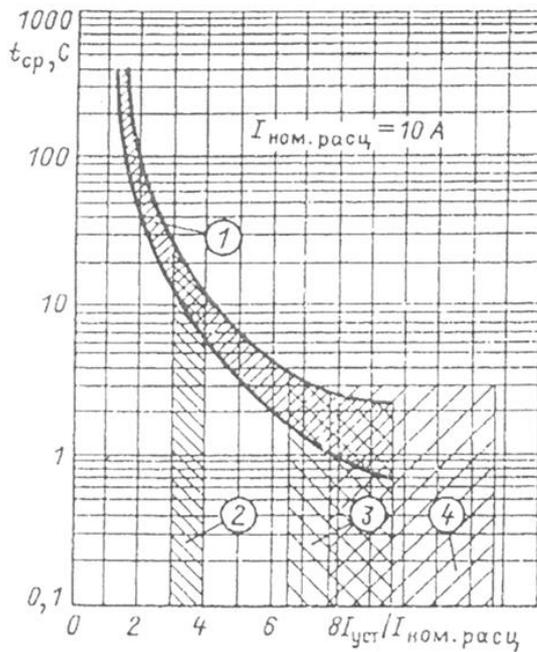


Рис.8.Времятоковые характеристики автоматических выключателей серии АП50-3МТ на номинальный ток 10 А

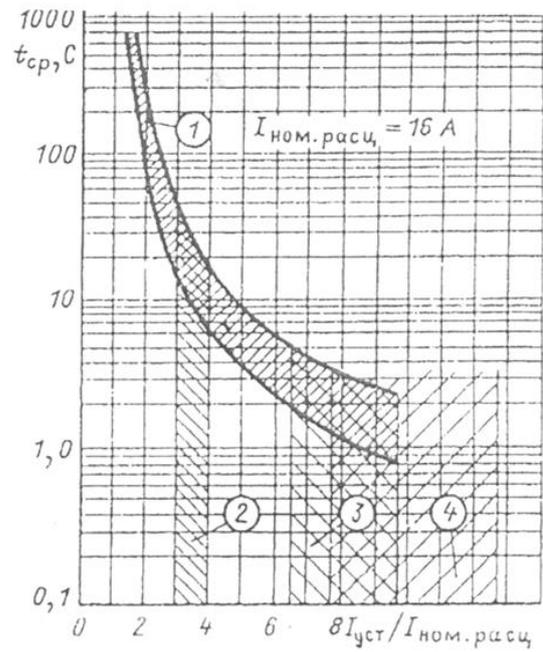


Рис.9.Времятоковые характеристики автоматических выключателей серии АП50-3МТ на номинальный ток 16 А

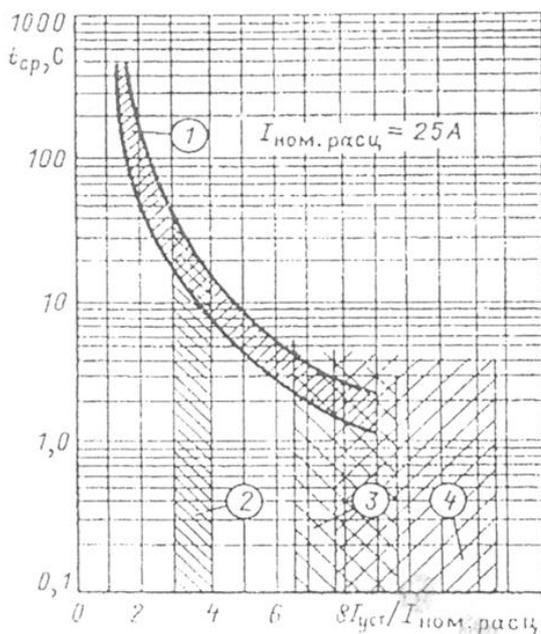


Рис.10.Времятоковые характеристики автоматических выключателей серии АП50-3МТ на номинальный ток 25 А

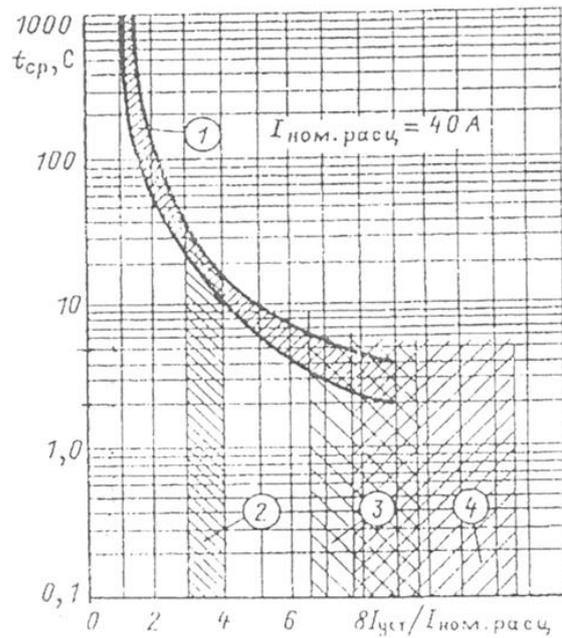


Рис.11.Времятоковые характеристики автоматических выключателей серии АП50-3МТ на номинальный ток 40 А



Ток нагрузки автоматического выключателя в задаче 3 возрос от номинального значения до  $I = 5$  А.

Определяем кратность тока нагрузки  $I/I_{ном.расц} = 5/1,6 = 3,12$ .

Из рис. 5 находим:

6. автоматический выключатель обязательно будет отключен тепловым расцепителем через 30 с с момента возрастания тока нагрузки;

7. в любое неопределенное время (от 0 до 30 с) автоматический выключатель может быть отключен электромагнитным расцепителем;

8. в любое неопределенное время (от 20 до 30 с) автоматический выключатель может быть отключен тепловым расцепителем.

Пускатели серии ПМЕ надежно работают при колебаниях напряжения сети в пределах от 0,85 до 1,05 номинального напряжения катушки. Пускатели с тепловой защитой имеют тепловые элементы (тепловые двухполюсные реле) типа ТРИ.

Реле ТРИ не срабатывает при номинальном токе уставки теплового элемента (в установившемся тепловом состоянии при температуре окружающей среды  $+20^{\circ}\text{C}$ ) и срабатывает в течение 20 мин при токе, равном 1,2 номинального тока уставки.

Реле допускает регулировку тока уставки в пределах  $\pm 25\%$ . Регулировку производят с помощью механизма уставки, на шкале которого нанесено по пять делений в обе стороны от нуля.

Тепловые реле типа ТРИ имеют температурную компенсацию.

Деление шкалы уставок для тепловых реле типа ТРИ выбирается в соответствии с выражением

$$Л6 = (I_{ном} - I_0)/(cI_0), \quad (1)$$

где  $I_{ном}$  - номинальный ток электродвигателя;  $I_0$  - ток нулевой уставки реле;  $c$  - цена деления, равная 0,05 для открытых пускателей и 0,055 - для защищенных.

Для токовых реле типа ТРН при температуре окружающей среды ниже  $+40^{\circ}\text{C}$  вводится поправка на окружающую температуру

$$Л2 = (I_{окр} \sim 30)/10. \quad (2)$$

При окружающей температуре выше  $+40^{\circ}\text{C}$  поправка не вводится. С учетом поправки на температуру окружающей среды результирующее деление шкалы

$$N = Л6 + Л2. \quad (3)$$

Полученные дробные расчетные значения делений шкалы уставок округляют до ближайшего целого значения.

Предположим,  $I_{ном} = 5$  А;  $I_0 = 6$  А. Температура окружающей среды  $+25$  °С.

По уравнению (1) находим  $b/l = (5-6)/(0,05*6) = -3,3$ .

Так как реле типа ТРИ имеет температурную компенсацию, то поправка на температуру окружающей среды не требуется. Механизм регулировки следует установить на отметку  $N = -3$  (третье деление влево от нулевой отметки).

### Контрольная работа №2

#### Задание 2.1.

Разработайте две схемы монтажа (по Вашему выбору) и поясните особенности монтажа приборов на технологических трубопроводах и оборудовании:

вариант 1 - для измерения и регулирования температуры [8, с. 405-406; 9, с. 265-270];

вариант 2 - для измерения давления и разрежения [8, с. 410-411; 9, с. 286-288];

вариант 3 - схемы соединительных линий для измерения давления и разрежения [8, с. 291-293; 9, с. 294-296];

вариант 4 - схемы приемников переменного перепада давления при измерении расхода [9, с. 298-302];

вариант 5 - дифференциальные манометры [8, с. 420-422; 9, с. 305-307, 310-313];

вариант 6 - схемы соединительных линий при измерении расхода жидкости [8, с. 291, 293-296; 9, с. 319-321];

вариант 7 - схемы соединительных линий при измерении расхода газа и водяного пара [8, с. 291, 294, 296; 9, с. 321-324];

вариант 8 - для измерения уровня [8, с. 425-429; 9, с. 333-337]; вариант

9 - для регулирования уровня [9, с. 337-341]; вариант 10 - схемы измерения уровня жидкости с дифманометрами - уровнемерами [8, с. 291, 296-297; 9, с. 342-344].

#### Задание 2.2.

Пусть относительная дисперсия, связанная с дискретностью опроса датчиков, не должна превышать  $\gamma\%$  (см. табл. К4). Выберите частоту опроса первичных измерительных преобразователей через число нулей случайного процесса.

Рассчитайте поправочный коэффициент результатов массового расхода насыщенного пара на изменение давления в трубопроводе. Номинальное значение давление  $P_0$  и фактическое значение давления  $P$  в трубопроводе представлены в табл. К4.

Таблица К4.

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$y, \%$	3,5	4,5	5,5	3,0	4,0	6,0	4,25	5,75	3,75	5,25
$P_0, \text{МПа}$	0,7	0,82	0,85	0,8	0,65	0,75	0,5	0,73	0,4	0,575
$P, \text{Мпа}$	0,75	0,85	0,8	0,85	0,6	0,7	0,55	0,8	0,3	0,6

## Пример выполнения контрольной работы №2

### Задание 2.1.

Монтаж приборов выполняют по типовым чертежам. Типовые чертежи являются нормативно-техническими документами, определяющими в зависимости от назначения типы и основные параметры (размеры) узла или изделия, сортамент применяемых материалов, конструкцию узлов и деталей, способ установки средств автоматизации и монтажных изделий, общие технические требования.

По назначению типовые чертежи подразделяются на типовые монтажные, типовых конструкций и закладных конструкций.

Монтажные чертежи предусматривают типовые способы установки приборов, средств автоматизации и монтажных изделий.

Например, на рис. 12, 13 приведены типовые чертежи установки приборов для измерения и регулирования температуры на технологических трубопроводах и оборудовании, а на рис. 14 - типовой чертеж установки ротаметра на технологическом трубопроводе.

Соединительные линии, служащие для соединения прибора с отборным устройством, называются импульсными. Соединительные линии должны иметь конфигурацию трассы, соответствующую свойствам измеряемой среды; должны быть герметичными, рассчитанными на условное давление

измеряемой среды, минимальную длину и диаметр, отвечающий параметрам измеряемой среды и удаленности прибора от места отбора (см. рис. 15).

При выполнении этого задания студенту необходимо отразить особенности монтажа приборов на технологических трубопроводах и оборудовании.

### Задание 2.2.

1. В соответствии с теоремой Котельникова каждый процесс  $x(t)$  с ограниченным спектром однозначно определяется для всех  $t$  своими выборочными значениями  $x(t_k)$  в точках  $t_k$ ,  $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ , разделенных промежутками  $T$  [13].

Пусть  $T = 5\%$ .

Следовательно, частоту опроса датчиков 10 определяем по уравнению [14]:

$$10 = \sqrt{4/K * D/O - 4/MO * 0,05} = 0,2/NO,$$

где  $DD$ ) - отношение добавочной дисперсии, связанной с заменой непрерывного случайного процесса ступенчатым с шагом 10, к дисперсии случайного процесса;  $NO$  - среднее число нулей случайного процесса в единицу времени, т.е. среднее число пересечений им линии своего математического ожидания в единицу времени.

Для получения  $NO$  определяем среднее значение случайного процесса, т.е. выбираем реализацию такой длины, чтобы случайный процесс пересекал линию среднего значения приблизительно 100 раз, и подсчитываем отношение числа пересечений (ЦТ) к длине реализации  $T$ :  $D = I(T)/T$ .

Если число пересечений в точности равно 100, то, обозначив соответствующую продолжительность реализации через  $T_{100}$ , получим:  $10 = 0,2 T_{100}/100 = 0,002 T_{100}$ .

Таким образом,

2. Рассмотрим коррекцию результатов измерения массового расхода насыщенного пара на изменение давления в трубопроводе. В этом случае функция, обратная полной статической характеристике расходомера, описывается выражением [14]:

$$Q = k(p \Delta P)^{1/2},$$

где  $Q$  - измеряемая величина, т.е. массовый расход потока через сечение трубопровода;  $k$  - коэффициент, практически не зависящий от давления;  $p$  - плотность измеряемой среды;  $\Delta P$  — перепад давления.

Для насыщенного пара плотность зависит от давления, поэтому поправочный коэффициент получаем делением уравнения (4) на градуировочную характеристику, которую запишем в виде:

$$b = k(P_0 \Delta P)^{1/2}.$$

$$1/2$$

Таким образом,  $k_n = (p/p_0)$ . В частности, для диапазона давлений 0,25 - 0,85 Мпа зависимость  $p$  от давления насыщенного пара аппроксимируется полиномом второй степени:

$$p = 0,86875 + 5,185 P - 0,02375 P^2.$$

Задав номинальное значение  $P_0$  можно по этой формуле рассчитать  $p_0$ , а затем рассчитать фактическую плотность, соответствующую текущему значению  $P$ , и рассчитать поправку на изменение условий  $k_n$ .

**Примерный перечень тем курсовых работ:**

составление рабочей документации локальной системы автоматизации конкретного объекта;  
разработка рабочей документации на техническое обеспечение АСУ ТП;  
составление рабочей документации пункта управления;  
разработка фрагментов информационного и программного обеспечения АСУ ТП.

Графическая часть работы включает схему автоматизации, принципиальные схемы, чертежи общего вида щита или пункта управления, установочные чертежи средств автоматизации, документы информационного и программного обеспечения.

Текстовая часть включает техническое задание на проектирование, описание разработанных схем, обоснование принятых проектных решений и аппаратурных реализаций, примеры перечней и заказных спецификаций.

### **3. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ И ЗАДАНИЙ ПО АВТОМАТИЗАЦИИ В РАМКАХ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ**

#### **1. АНАЛИЗ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОЦЕССА КАК ОБЪЕКТА УПРАВЛЕНИЯ**

Любые действия по автоматизации того или иного промышленного процесса должны начинаться с его *анализа как объекта управления*, т. е. нахождения эффективных каналов воздействия на важные технологические переменные, количественно характеризующие качество полуфабриката или конечного продукта.

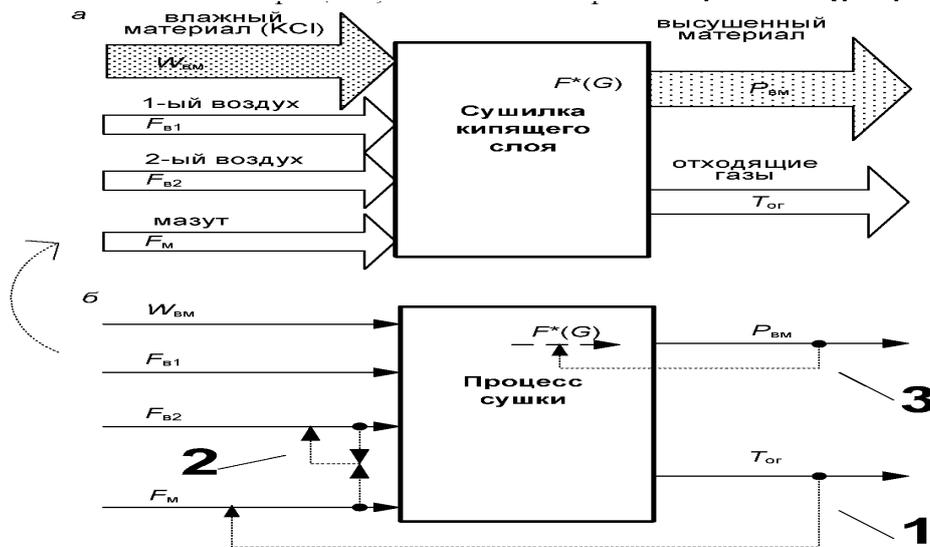
Алгоритм анализа состоит из двух основных шагов:

1. Выбор технологических переменных, адекватно характеризующих протекание процесса и, соответственно, подлежащих контролю и регулированию. Базируется на схеме материальных (энергетических) потоков и их информационных (технологических) переменных (*см. 1.1*);
2. Определение структуры системы автоматического управления (САУ) или их набора. Основано на выявлении взаимных влияний (для введения обратных связей) ранее выбранных переменных (шаг 1), т. е. каналов «управляющее воздействие-переменная, характеризующая качество полуфабриката или конечного продукта». Базируется на структурной схеме САУ (*см. 1.2*).

В результате их выполнения составляется схема анализа технологического процесса как объекта управления, состоящая из двух тесно взаимосвязанных между собой схем: схемы материальных потоков и их информационных переменных и структурной схемы САУ. Они приводятся на одном рисунке друг под другом, в одном масштабе, чтобы

были четко видны технологические потоки и решения по автоматизации.

На рис 1.1 приведен внешний вид схемы анализа процесса сушки в кипящем слое как объекта управления. Основной материальный поток выделен точеной заливкой. Обратите внимание на важный концептуальный момент - при накладывании друг на друга (показано тонкой дугообразной стрелкой) схема материальных потоков и их информационных переменных совпадает со структурной схемой САУ, т. е. технология виртуально совмещается с автоматикой. Такое совмещение позволяет технологу (механику) увидеть воздействие контуров автоматического управления на основе обратной связи, а автоматчику - лучше понять происходящие технологические превращения или функционирование аппарата (устройства). Вот почему необходимо располагать эти схемы друг под другом и в одном масштабе. На схеме материальных потоков и их информационных переменных объект управления подписывается как аппарат (устройство), на



**Рис. 1.1.** Схема анализа процесса сушки в кипящем слое как объекта управления:  
 а) схема материальных потоков и их информационных переменных  
 б) структурная схема САУ. Состоит из набора трех локальных систем автоматического управления (три контура обратной связи): первая (основная) – стабилизация температуры отходящих газов  $T_{Or}$  путем изменения расхода мазута  $F_M$ , вторая – стабилизация соотношения расходов «мазут  $F_M$  – вторичный воздух  $F_{B2}$ », третья – стабилизация давления  $P_{BM}$  в трубопроводе, отводящем высушенный материал путем изменения его расхода  $F(G)$  – ; а также систем автоматического контроля массы влажного материала  $W_{BM}$  и расхода первичного воздуха  $F_{B1}$

структурной схеме САУ - как процесс, что обычно принято в автоматике.

### ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПЕРЕМЕННЫХ

**Схема материальных (энергетических) потоков и их информационных (технологических) переменных.**  
 Аргументированный выбор необходимых для автоматизации процесса технологических переменных удобно проводить на основе схемы

материальных (энергетических) потоков и их информационных (технологических) переменных.

На ней промышленные аппараты (механизмы) изображаются прямоугольниками, а для каждого потока (входного, выходного, внутри аппарата) определяются присущие только ему специфические технологические переменные, в дальнейшем именуемые информационными переменными (температура, давление, расход, концентрация, влажность, масса, скорость, уровень, положение и т. д.).

**Требования к выбору информационных переменных для схемы материальных (энергетических) потоков.** Предполагают определенные условия включения в систему автоматического управления:

число информационных переменных должно быть минимальным для каждого материального потока, но достаточным для полного представления о ходе протекания технологического процесса;

информационная переменная должна измеряться реально, а не на бумаге, т. е. иметь соответствующий промышленный датчик (см. 1.3) с требуемыми диапазоном измерения, точностью и надежностью. Если это невозможно, то бессмысленно включать такую информационную переменную в структуру системы автоматического управления помня одну из базовых аксиом автоматики: то, что мы не можем измерить, тем мы не можем управлять.

Из последней ситуации есть выход - заменить важную информационную переменную не имеющую технических средств изменения (или работающих недостаточно надежно) другой, *косвенно* ее характеризующей.

Например, измерение напрямую влажности материала  $M$  в потоке при его сушке всегда представляло собой непростую измерительную проблему, в то время как измерение температуры  $T$ , косвенно ее характеризующую, может быть с успехом применено. В такой ситуации для многих аппаратов сушки доказано, что если температура в аппарате будет стабильно поддерживаться, то высока вероятность того, что влажность материала тоже будет в диапазоне, определенном технологическим регламентом.

**Описание процесса на основе схемы материальных (энергетических) потоков как объекта управления.**

Следует начать с конкретного (обязательно с цифрами) определения технологической цели процесса, которая в дальнейшем должна быть увязана с целью управления (см. 1.2)'.

Целью процесса (*конкретизировать процесс*) является получение /смешивание, разделение, сушка, дробление, очистка и т. д. и т. п./ продукта /полуфабриката/ с заданными характеристиками (*конкретизировать не только характеристики, т. е. информационные переменные, но и их численные значения*).

Например:

Целью процесса прессования является получение бумажного полотна влажностью  $M_{6п} = 60-62\%$ .

Такая конкретизация позволяет в дальнейшем четко сформулировать задание промышленному контроллеру - поддерживать (стабилизировать) влажность бумажного полотна в диапазоне  $M_{6п} = 60-62\%$ .

Далее осуществляется сжатое (чем короче, тем лучше) описание процесса с точки зрения входных и выходных материальных (энергетических) потоков, потоков внутри аппарата (субстанция и т. п.) и их преобразований в аппарате относительно друг друга, с указанием численных значений (диапазона) информационных переменных, характеризующих рассматриваемые потоки. При описании следует отслеживать взаимные воздействия выбранных входных, внутренних и выходных информационных переменных процесса, что позволит обоснованно построить структурную схему системы управления (*см. 1.2*). В описании необходимо обязательно указать среднее время пребывания компонентов (частиц) в каждом аппарате.

Текст описания должен быть кратким, логичным, понятным и однозначным. Типичные ошибки описания:

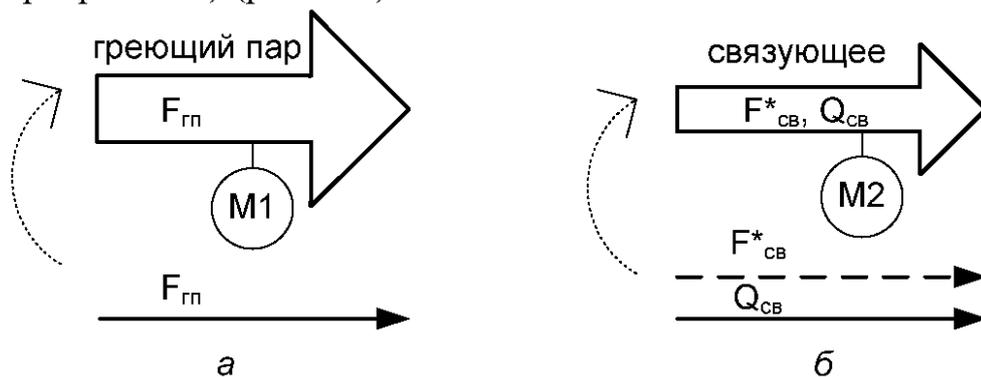
непоследовательность изложения: описание потоков (и соответствующих им информационных переменных) появляется хаотично в любой последовательности, в то время как оно должно быть подчинено ритму «слево-направо», т. е. они поступают, преобразовываются и выходят из аппарата;

перегруженность специальной терминологией, отвлекающими нюансами технологии (например, «алюминиевые наконечники ромбовидной формы», «27 щелевидных тарелок» и т. п.). Такие обороты уместны при описании технологии, но т. к. при автоматизации она подразумевается постоянной, т. е. мы не можем изменить форму аппарата или его устройство, то все не относящиеся к делу подробности желательно опустить;

отсутствие единообразия терминологии: материальный поток именуется то «высушиваемые изделия», то «влажный материал», то

«таблетируемые брикеты», что приводит к путанице уже на схемах с несколькими аппаратами, не говоря о многосвязных реальных системах; отсутствие в тексте ссылок на исполнительные механизмы (двигатели  $M$ ), буквенных обозначений информационных переменных и их численных значений.

*Графические обозначения на схеме материальных (энергетических) потоков.* Входные и выходные материальные потоки показываются объемной стрелкой, подчеркивающей их «материальность» и сверху подписываются (например, «греющий пар», «связующее», «воздух» и т. п.). Внутри стрелки записываются те информационные переменные, которые характеризуют протекание технологического процесса. При необходимости к потокам добавляются исполнительные механизмы - двигатели ( $M1$  и  $M2$ ), приводящие в действие соответствующие регулирующие органы (например, насос, вентилятор, транспортер и т. п.) (рис. 1.2).



**Рис. 1.2.** Обозначение а) материального потока (греющий пар) с одной информационной переменной (расход греющего пара  $F_{гр}$ ) и собственно информационной переменной  $F_{гр}$  на структурной схеме б) материального потока (связующее) с двумя информационными переменными (расход связующего  $F^*_{св}$  и его концентрация  $Q_{св}$ ) и собственно двумя информационными переменными  $F_{гр}$ ,  $Q_{св}$  на структурной схеме. Штрихпунктирная линия говорит о том, что хотя расход связующего не измеряется (его виртуальность отмечена добавлением значка \* к буквенному обозначению), однако его требуется учесть на структурной схеме САУ в связи с тем, что он будет замыкать контур обратной связи

В свою очередь, каждый входной и выходной материальный (энергетический) поток, а также субстанция внутри объекта управления, характеризуются собственными информационными переменными, которые в дальнейшем используются при составлении структурной схемы САУ (см. 1.2). Там они показываются простой тонкой стрелкой (подчеркивающей их «не материальность», а «информативность») с добавлением буквенного обозначения информационной переменной. Обозначения переменных даются в соответствии с принятыми при

проектировании функциональных схем автоматизации (первая позиция в обозначении):

*O* - плотность;

*E* - любая электрическая величина;

*E* - расход;

*O* - размер, положение, перемещение;

*H* - ручное воздействие;

*K* - время или временная программа;

*E* ~ уровень;

*M* - влажность,

*P* - давление или вакуум;

(*2* - величина, характеризующая качество (состав, концентрацию и т. п., например  $<2^{pH}$  - собственно, pH;  $<^2^0$ , - концентрация серной кислоты);

*K* - радиоактивность;

$5^1$  - скорость или частота;

*T* - температура;

*II* - несколько разнородных измеряемых величин;

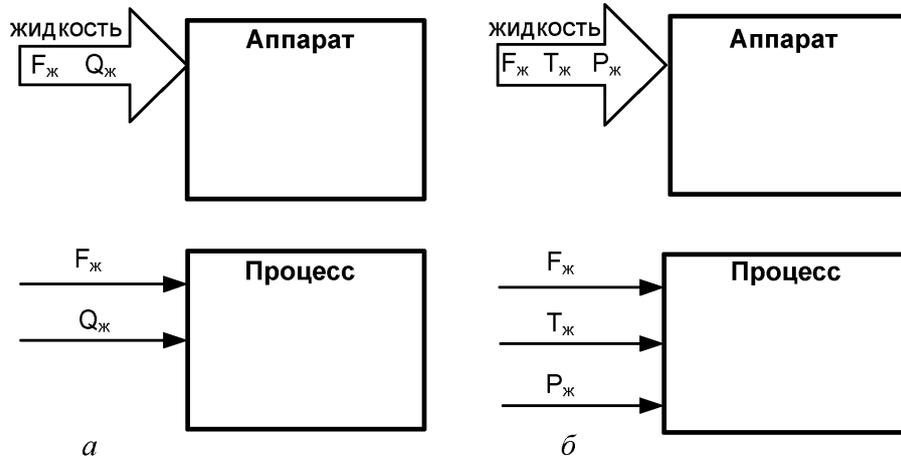
*V* - вязкость;

*IV* - масса;

*X* - не рекомендуемая резервная буква.

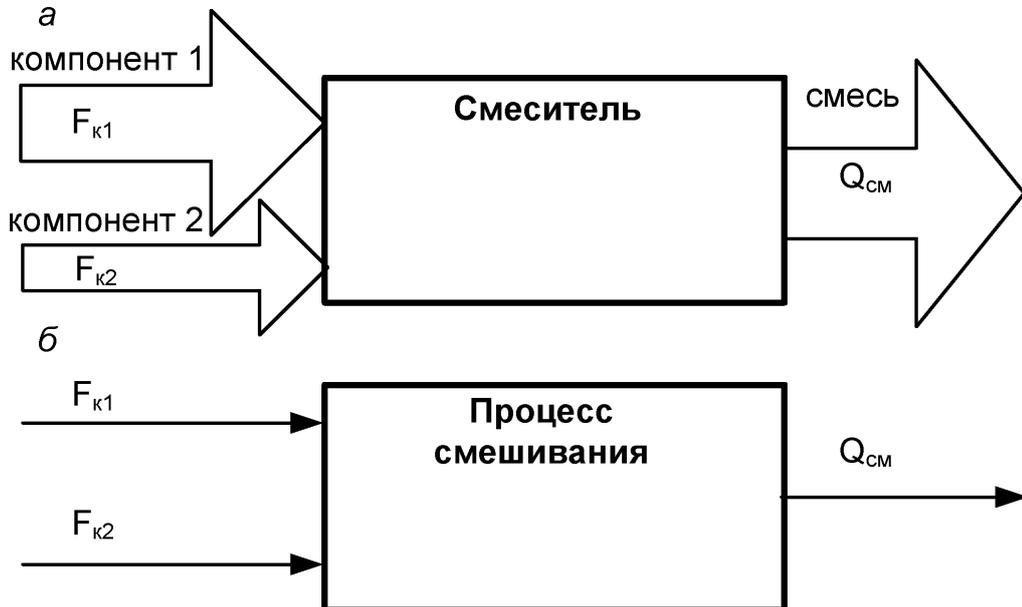
Количество информационных переменных, характеризующих тот или иной материальный поток в каждом конкретном случае может меняться в зависимости от их способности адекватно характеризовать процесс.

Например, поток жидкости на входе в объект управления (т. е. технологический аппарат) может характеризоваться следующими информационными переменными: расходом *E* и концентрацией *O*) (рис. 1.3, а). В других процессах к ним могут прибавиться, например, температура *T* и/или давление *P*, а концентрация  $<2$ , наоборот, исчезнуть (рис. 1.3, б).



**Рис. 1.3.** Схемы а) входного материального потока (жидкости) с двумя ( $F$  – расход и  $Q$  – концентрация) и б) тремя ( $F$  – расход,  $T$  – температура и  $P$  – давление) информационными переменными и отображение информационных переменных на структурной схеме САУ

Размеры материальных стрелок (их «объемность») произвольны, но если материальные потоки сильно отличаются по своим расходам, то уместно хотя бы приблизительно учесть эти пропорции (рис. 1.4). Данный прием значительно увеличивает читаемость схемы.



**Рис. 1.4.** а) схема материальных потоков и их информационных переменных процесса смешивания, б) отображение информационных переменных на структурной схеме САУ. Подаваемый в смеситель компонент 1 явно больше по расходу компонента 2, что соответственно должно учитываться на размере материального потока (стрелки) полученной смеси, как суммы потоков двух компонентов

Конечным результатом является схема материальных (энергети-

ческих) потоков и их информационных переменных, адекватно характеризующих протекание процесса и, соответственно, важных с точки зрения контроля и управления (рис. 1.5). Стрелки материальных потоков должны быть направлены слева направо (система «вход-выход»).

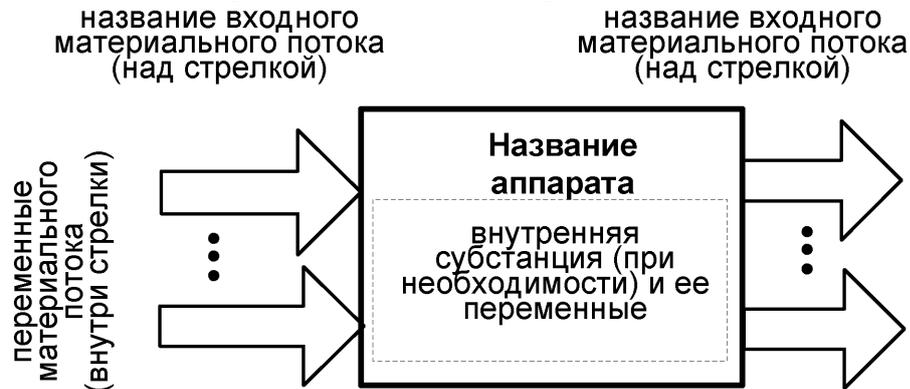


Рис. 1.5. Обобщенная схема материальных потоков и их информационных переменных

Это очень абстрактная и обобщенная схема, поэтому при необходимости, она может быть дополнена (см. Приложение 1):

внутренними конструктивными узлами (с указанием характерных информационных переменных), особыми зонами и т. д. для получения представления, с точки зрения управления, о происходящих внутри аппарата/агрегатах процессах;

аппаратами, имеющими с ним существенную технологическую связь и/или поясняющими его функционирование.

#### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ**

**Структурная схема САУ.** Базируется на схеме материальных потоков и их информационных переменных и позволяет аргументировано ввести обратные связи для соответствующих контуров регулирования САУ (температуры, давления, расхода, уровня, скорости, концентрации и т. д.), компенсирующих влияние возмущений.

На ней технологические процессы изображаются прямоугольниками (внутри указывается название процесса), а информационные переменные берутся непосредственно из схемы материальных потоков и их информационных переменных.

Для определения структуры САУ (или их набора) выявляются:

взаимные воздействия ранее выбранных входных, внутренних и выходных информационных переменных процесса, что позволяет выбрать наиболее чувствительные каналы;



очки введения управляющих воздействий и каналы их прохождения по технологическому аппарату (объекту управления), что позволяет выбрать наиболее «короткие» контуры управления. При этом обязательно конкретизируется цель процесса управления, которая должна быть согласована (связана) с технологической целью процесса (см. 1.1):

*Цель управления:* стабилизация технологической переменной (выходной, внутренней, входной) (*конкретизировать*), путем изменения (входной, внутренней, выходной) переменной (*конкретизировать*).

Например:

Целью управления процессом прессования бумажного полотна является стабилизация его влажности ( $M^{\wedge}_n = 60-62\%$ ), путем изменения расхода водовоздушной смеси из камеры отсасывающего вала.

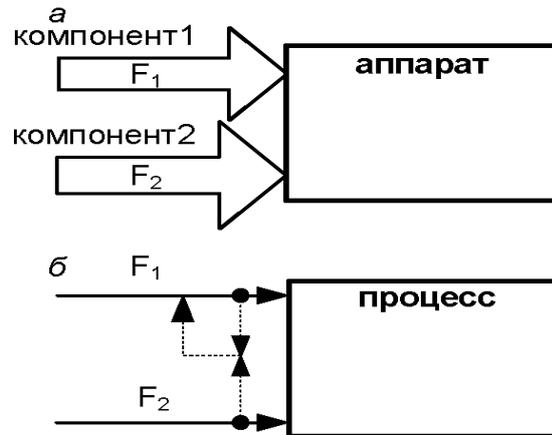
Главное не забывать, что технологический процесс должен рассматриваться *как объект управления*, т. е. показаны возможности целенаправленного управляющего воздействия на важные переменные, характеризующие качество полуфабриката или конечного продукта.

Такое управляющее воздействие на практике осуществляется регулирующим органом - устройством, непосредственно воздействующим на объект управления путём изменения количественных и качественных характеристик материальных (энергетических) потоков (вентили, клапаны, дозаторы, насосы, транспортеры, шнеки, вентиляторы, заслонки, шиберы, прижимные вальцы, каландры, ТЭНы, пилы, фрезы, шлифовальная лента и т. п.)

Главной чертой любых схем автоматизации является наличие *обратной связи* (рис. 1.6, показана пунктирной линией со стрелкой), позволяющей стабилизировать важную технологическую переменную, характеризующую работу аппарата, путем изменения входных, выходных или внутренних переменных. Обязательно обратите внимание на контур обратной связи ?

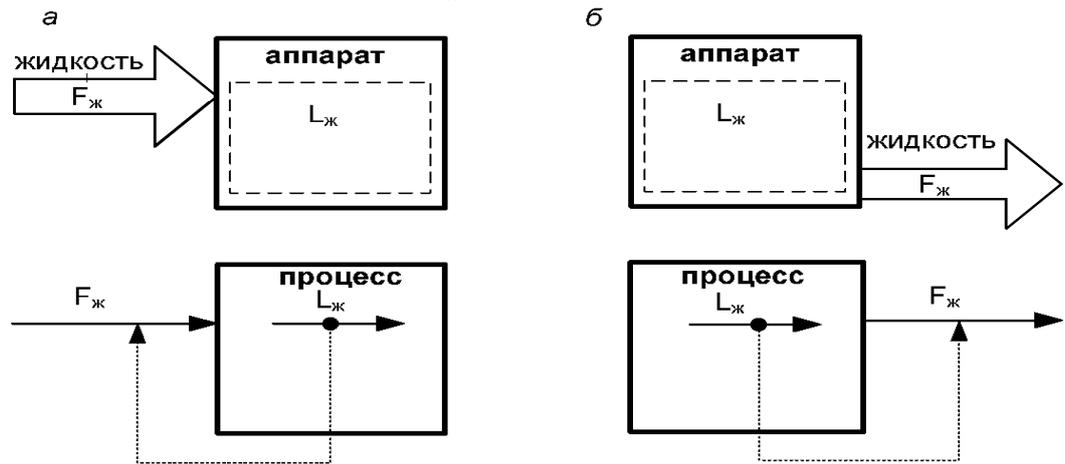
Т ^ обратной связи

Автоматические системы безопасности



а) схема материальных потоков и их информационных переменных  
 б) структурная схема САУ соотношением двух потоков

*Пример 1.3.* Варианты регулирования уровня жидкости  $L_{ж}$  в аппарате ( $L_{ж}$  может характеризовать внутреннюю субстанцию в емкости, баке и т. п.) путем изменения ее расхода  $F_{ж}$  на входе (а) и выходе (б).



а) схема материальных потоков и их информационных переменных совместно со структурной схемой САУ уровня входным потоком б) то же, но выходным потоком

*Пример 1.4.* Регулирование переменной (температура  $T$ , характеризующая внутреннюю субстанцию в аппарате) с помощью изменения входной (а) или выходной (б) переменной – греющего пара (расход  $F_{гп}$ ). В качестве входного (выходного) потока может служить также подогревающая или охлаждающая жидкость.

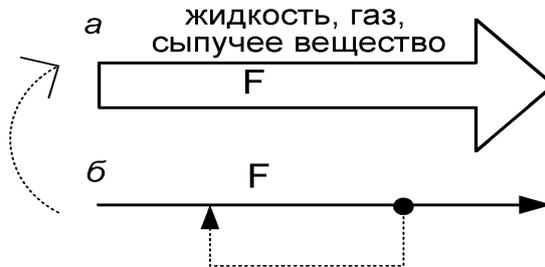
Автоматические системы безопасности



Рис. 1.6. Обозначение обратной связи на структурных схемах САУ

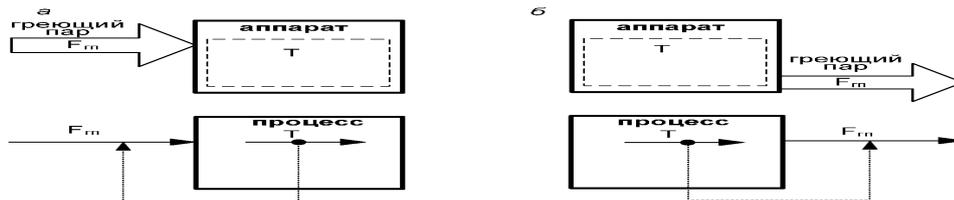
**Структурные схемы одноконтурных САУ.** Данные схемы регулирования (стабилизации) получили широкое распространение. Строятся на основе САУ по отклонению и включают один контур регулирования (расхода, уровня, температуры, давления, концентрации и т. д.).

*Пример 1.1.* Стабилизация потока жидкости или газа (в трубе) или потока сыпучего материала путем изменения их расхода  $F$ . Может осуществляться как на входе, так и на выходе технологического аппарата.



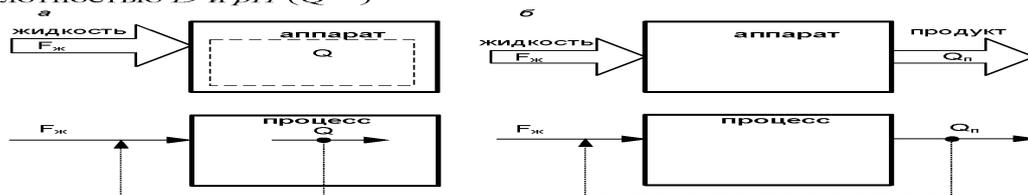
а) схема материальных потоков и их информационных переменных  
б) структурная схема САУ расходом. Обратная связь выделена пунктирной линией со стрелкой

*Пример 1.2.* Стабилизация соотношения двух потоков (компонентов - расход и расход  $\Pi_2$ ) в определенной пропорции (изменением расхода  $\Gamma_x$ ). Применяется при приготовлении смесей и



а) схема материальных потоков и их информационных переменных совместно со структурной схемой САУ температурой внутри аппарата входным потоком б) то же, но выходным потоком

*Пример 1.5.* Регулирование переменной (концентрация  $Q$ , характеризующая внутреннюю субстанцию в аппарате) с помощью изменения входной переменной – жидкости (расход  $F_{ж}$ ). В качестве входного потока могут служить различные жидкие компоненты (связующее, клей, эмульсия и т. п.). Аналогично строятся системы регулирования плотностью  $D$  и  $pH$  ( $Q^{pH}$ )

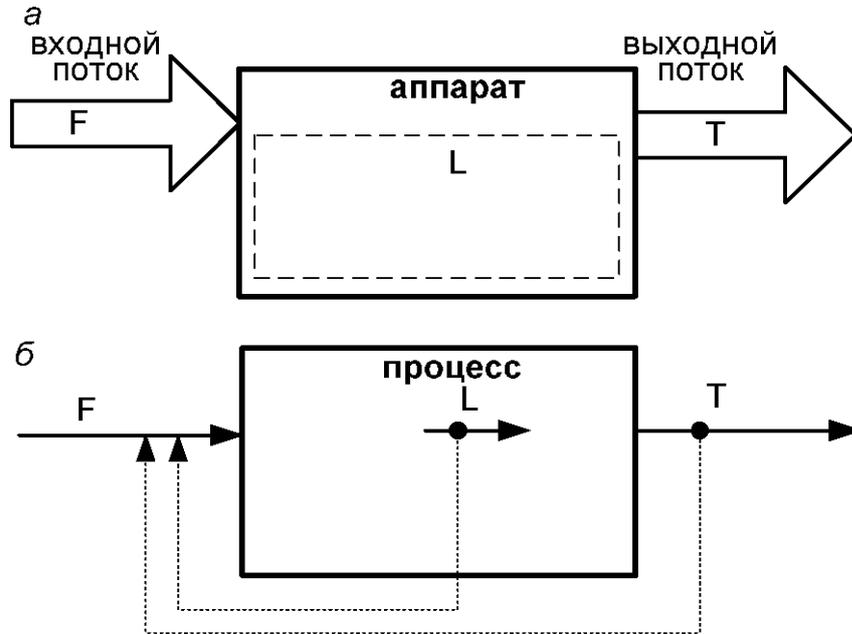


а) схема материальных потоков и их информационных переменных совместно со структурной схемой САУ концентрацией внутри аппарата входным потоком б) то же, но на выходе из аппарата

КОМПОЗИЦИЙ.

**Структурная схема каскадной САУ.**

Пример 1.6. Регулирование выходной переменной (температура  $T$ ) через промежуточную (уровень  $L$ ) с помощью входной переменной (расход  $F$ ) (каскадная система управления)



а) схема материальных потоков и их информационных переменных  
 б) структурная схема САУ температурой внутри аппарата

**Структурная схема комбинированной САУ.**

**Структурная схема инвариантной САУ.**

**Структурная схема многосвязной САУ.**

**Таблица переменных, подлежащих контролю и регулированию.**

На основании проведенного анализа промышленного процесса как объекта управления составляется таблица, включающая характеристики переменных, подлежащих контролю и регулированию (номинальное значение, диапазон измерения, точность), а также способ учета (контроль, регулирование. Признак наличия «+», признак отсутствия «-»).

Структура таблицы имеет вид.

Технологическая переменная	Номинальное значение, диапазон измерения, точность	Контроль	Регулирование
		+ или -	+ или -

## 2. ВЫБОР КОМПЛЕКСА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ

Задача выбора комплекса технических средств (КТС) автоматизации заключается в сравнении разных вариантов систем по техническим, экономическим и эксплуатационным показателям. Исходными данными для выбора КТС является:

общая характеристика разрабатываемой САУ (требования к качеству контроля и управления) и условий ее эксплуатации;

стоимость;

опыт создания и эксплуатации аналогичных систем.

Условия работы САУ определяются данными о контролируемой и внешней среде, протяженностью линий связи. Требования к качеству контроля и регулирования включают основные метрологические данные средств измерений: порог чувствительности, быстродействие, надежность. Обычно требования к классу точности измерительных комплектов для промышленных систем составляют 0,25-1,5, к порог чувствительности — 0,05- 0,1% диапазона измерений, к быстродействию — не более 16 с.

Типовая САУ состоит из ряда базовых элементов - объекта управления (ОУ) и системы управления (СУ): (рис. 2.1.):

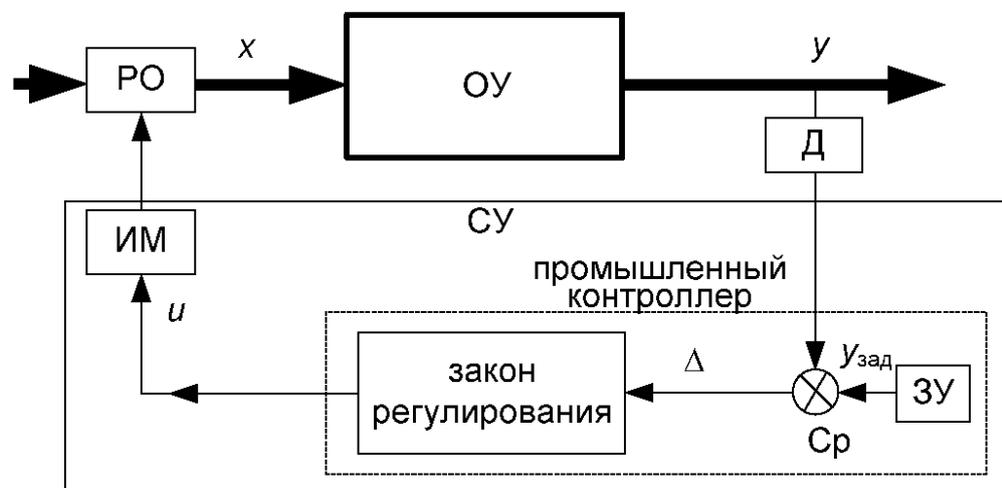


Рис. 2.1. Структурная схема САУ с основными базовыми элементами

Д – датчик (воспринимающее устройство, первичный преобразователь, сенсор) – устройство, преобразующее физическую величину (например, температуру  $T$ , давление  $P$ , расход  $F$ , концентрацию  $Q$ , массу  $M$ , скорость  $5^1$  и т.д.) в сигнал, удобный для передачи (электрический, гидравлический, пневматический, механический).

**СУ** - система управления (на практике реализуются в виде **промышленного контроллера** (РБС - Pгоцгаттег 1,ошс Соп1го11ег). Обычно в нем предусмотрены функции задания, сравнения и формирования алгоритма (закона) регулирования:

**ЗУ** (задающее устройство) - служит для установления заданного значения  $u_{зад}$  управляемой переменной  $y$ . Установка производится: а) вручную, б) автоматически.

**Ср** (сравнивающее устройство) - сравнивает (обычно это операция вычитания, т.е. отрицательная обратная связь) текущее  $y$  и заданное значение  $u_{зад}$  технологической переменной. В результате на его выходе формируется сигнал рассогласования  $A$ .

$U_c$  /при необходимости/ (усилительное устройство) - усиливает мощность сигнала рассогласования  $A$ . Применяются электронные, гидравлические, пневматические, магнитные усилители.

**Закон регулирования** - на основании программы внутри РБС формируется определенный закон регулирования.

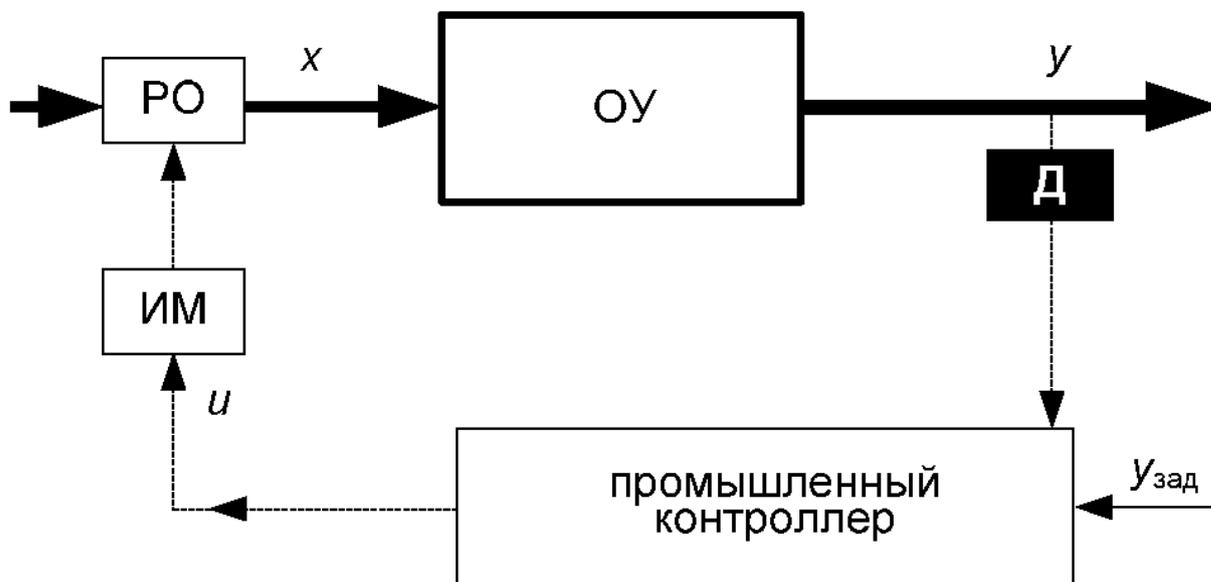
**ИМ** - исполнительный механизм. Обычно это силовое устройство с достаточно большой мощностью (двигатели электрические, гидравлические, пневматические, электромагнитные, поршневые устройства, муфты).

**РО** - регулирующий орган, механическое устройство, непосредственно воздействующее на ОУ путём изменения количественных и качественных характеристик материальных и энергетических потоков (вентили, клапаны, дозаторы, насосы, транспортеры, шнеки, вентиляторы, заслонки, шиберы, прижимные вальцы, каландры, ТЭНы, пилы, фрезы, шлифовальная лента и т. и.).

В ряде систем управления ИМ и РО отсутствуют, и регулирование переменных промышленного процесса выполняется без помощи механических устройств (ток, напряжение).

Выбор элементов системы автоматического контроля осуществляют в следующей последовательности: первичный измерительный преобразователь (ИП), линия связи, вторичный измерительный преобразователь.

### 2.1. Выбор первичных измерительных преобразователей (датчиков)



**Рис. 2.2.** Расположение датчиков в структурной схеме САУ

Выбор первичных ИП зависит от характеристики среды, которую нужно контролировать, диапазона измерений контролируемого воздуха и других метрологических и эксплуатационных характеристик. При этом необходимо иметь в виду, что использование радиоактивных, высокочастотных и ультразвуковых приборов требует тщательного анализа возможности влияния излучения на обслуживающий персонал и качество изготавливаемой продукции. При выборе диапазона измерений и материала, из которого сделан преобразователь, должны учитываться условия их нормальной работы.

Выбор линии связи в основном определяется видом энергии, расстоянием, на которое необходимо передать сигнал, и окружающей средой.

#### **Выбор вторичных измерительных преобразователей**

Выбор вторичных преобразователей выполняется по классу точности, динамическим свойствам, габаритам, количеству измеряемых величин, виду шкал, характеристикам выполнения (нормальным, тропическим, искробезопасным); характеру отсчета измеряемой величины (цифровой, аналоговый, дискретно-аналоговый).

Для контроля наиболее важных показателей технологического процесса используют показывающие приборы, которые позволяют восстановить ход процесса за определенный интервал времени, оценить влияние возмущений на окончательный итог и повысить эффективность

расчета технико-экономических показателей работы отдельных участков и цехов.

Нежелательно объединять в одном СИ величины, которые характеризуют работу разнотипных агрегатов или оснащения, которое последовательно размещено в технологичном процессе. Показывающие СИ используют для оперативного визуального контроля, а также эпизодического контроля второстепенных параметров.

В настоящее время широко применяются в качестве вторичных СИ микропроцессорные измерители с универсальными входами для подключения широкого спектра датчиков температуры (сопротивления, термопар), а так же вторичные датчики с унифицированными выходными сигналами (0-5 мА; 0-20 мА, 4-20 мА). Эти СИ исполняют преобразование сигнала датчика для индикации реальной значимости физической величины, индикацию измеренных величин на встроенных индикаторах, имеют удобное меню для программирования СИ кнопками на его панели.

Также они позволяют регистрировать контролируемые параметры на контроллере через адаптер по интерфейсу К.8-232 или К.8-495. Некоторые из этих контроллеров осуществляют сигнализацию о выходе контролируемых величин за заданные границы, а так же об обрыве или кратком замыкании датчика.

Микропроцессорные измерители выпускаются в одна-, двух- и многоканальном исполнении.

Применяются также микропроцессорные вторичные преобразователи, предназначенные для накопления (архивирования) в энергозависимой памяти, сохранения и отображения информации о состоянии 6 технологичных параметров с выдачей сигналов на монитор (тип МТМ-РЕ-160-01).

### **Выбор промежуточных преобразователей**

Промежуточные преобразователи предназначены для преобразования сигнала одного вида в другой. Их используют для согласования входных и выходных сигналов отдельных устройств.

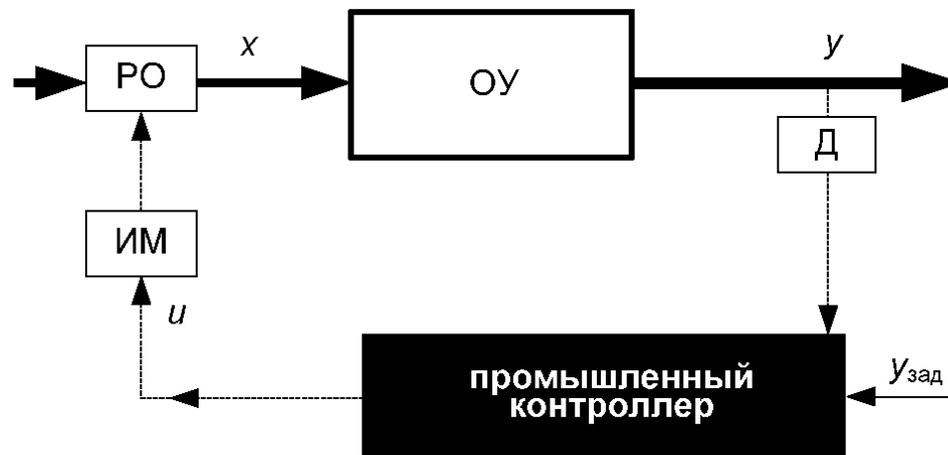
Предварительно входные и выходные промежуточные преобразователи выбирают по классификационным характеристикам (по виду сигналов), а затем по техническим характеристикам окончательно выбирают тип преобразователя.

Например, по условиям окружающей среды датчик имеет выходной пневматический сигнал. Для его связи с электрическим вторичным прибором или регулятором, который установлен на щите управления,

необходимо применять входной пневмоэлектрический преобразователь.

Так же для связи пневматического исполнительного механизма, установленного на объекте, с электрическим регулятором или контроллером, который находится на щите управления, необходимо применять электропневмопреобразователь.

### Выбор автоматических регуляторов (промышленных контроллеров)



**Рис. 2.3.** Расположение промышленных контроллеров в структурной схеме САУ

Технические средства систем автоматического регулирования выбирают после определения КТС для систем управления более высокого уровня, т. е. системы управления участком, линией или цехом. Для правильного выбора элементов САУ необходимо иметь: характеристику объекта управления (ОУ) и основных возмущений; свойства окружающей среды; необходимость дистанционной передачи информации от измерительных преобразователей к вторичным приборам и от регулятора к исполнительному механизму; требования к точности, качеству переходного процесса и надежности работы.

Регулирующий орган (РО), как и ИП, при анализе технической структуры САУ обычно относят к ОУ. При этом выходной величиной объекта является сигнал ИП, а управляющим воздействием — перемещение РО, измеряемое в процентах его хода. Для удобства расчетов возмущений, которые действует на ОУ, сводят к одному из трех наиболее распространенных видов: скачкообразное, импульсное (пиковое) или монотонно нарастающее и измеряют в процентах хода РО. Потом подбирают перемещение РО, которое оказывает на ОУ воздействие, эквивалентное аппроксимированному возмущению.

Для обоснования выбора регулятора необходимо знать свойства заданного объекта регулирования, которые в основном определяются его динамической характеристикой. Когда этих сведений недостаточно или они отсутствуют, выбор регуляторов осуществляется по аналогии с САР, которые действуют на основании ориентировочных данных о свойствах объекта, учитывая следующие рекомендации.

Тип регулирующего воздействия предварительно выбирают по значимости относительного запаздывания  $I / T$  при  $I / T > 0,5-1,0$  — импульсный; при  $0 < I / T < 0,2$  — позиционный (релейный); при  $I / T > 0,2$  — непрерывный. Помимо того:

Импульсные регуляторы целесообразно использовать в объектах без большого запаздывания, при средней емкости объекта, при постоянной или незначительно изменяющейся нагрузке;

Двухпозиционные регуляторы можно применять в объектах без большого запаздывания, при большой емкости, когда нагрузка постоянна или изменяется незначительно;

И-регуляторы используют для объектов с самовыравниванием с небольшим запаздыванием, при малой или большой емкости и при нагрузке, которая изменяется медленно;

П-регуляторы можно применять в основном для одноемкостных объектов с самовыравниванием с небольшим запаздыванием и при небольших изменениях (колебаниях) нагрузки;

ПИ-регуляторы используют в объектах с любой емкостью, с большим запаздыванием, при больших и медленных изменениях нагрузки;

ПИД-регуляторы используют в объектах с любой емкостью, с очень большим запаздыванием при больших и резких изменениях нагрузки.

В настоящее время широкое применение получили микропроцессорные измерители-регуляторы разных типов. Они имеют универсальные входы для подключения широкого спектра датчиков температуры, давления, влажности и др., исполняют преобразование сигнала датчика для индикации реальной значимости физической величины.

Эти средства измерений имеют два цифровых индикатора на панели для контроля регулируемой величины и ее уставки (задания), меню параметров для программирования кнопками на панели прибора, встроенный интерфейс К.8-485 для связи с компьютером с целью регистрации на нем данных.

Измерители-регуляторы осуществляют регулирование входной величины: двухпозиционное, трехпозиционное, аналоговое П-, ПИ- и ПИД-регулирование; дистанционное управление режимами работы

средства измерения: запуском (приостановкой регулирования, переключением на управление от компьютера; сигнализацию о возникновении аварийных ситуаций при выходе регулируемой величины за заданные границы и обрыве в цепи регулирования). Они имеют аналоговые выходы (4-20 мА) для управления мощностью разных электрических преобразователей и дискретные — для управления электроприводами заслонок, клапанов.

Контроллеры выпускают в 1 2-, и 8-канальном исполнении.

Типы некоторых микропроцессорных измерителей-регуляторов и их технические характеристики приведены в дополнении.

Для автоматизации химико-технологических процессов со значительным количеством параметров контроля и регулирования наиболее эффективным является применение микропроцессорных контроллеров, которые позволяют осуществлять все необходимые функции для управления сложными объектами.

#### Выбор исполнительных устройств

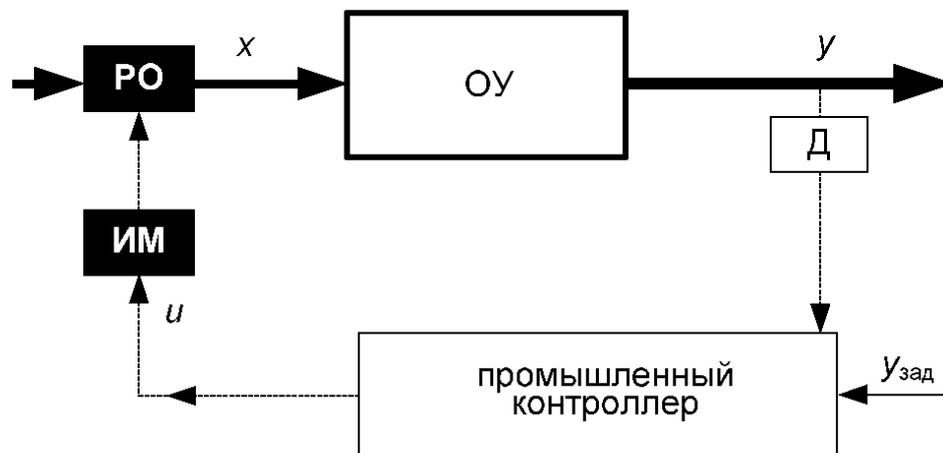


Рис. 2.4. Расположение исполнительных механизмов и регулирующих органов в структурной схеме САУ

Исполнительное устройство выбирают с целью обеспечения следующих требований: соответствие принципу действия и конструкции устройства выполняемой задаче, регулируемой и окружающей средам; обеспечение необходимой скорости регулирования и линейности характеристики; обеспечение требуемой надежности и ресурса работы. Исполнительное устройство состоит из регулирующего органа (РО), который непосредственно воздействует на процесс, и исполнительного механизма (ИМ), т. е. привода, который управляет РО.

Выбор необходимого РО определяется в основном свойствами среды, которая проходит через него, а также требуемой пропускной способностью.

Клапаны односедельные имеют простую конструкцию и одно седло, из-за чего на затвор действует нагрузка, которая создает противодействие его закрытию. Эти клапаны можно использовать для чистых, слабозагрязненных и вязких жидкостей.

Двухседельные клапаны обеспечивают полную разгрузку затвора и применяют их для чистых жидкостей, газов и пара. Они имеют условный проход от 15 к 300 мм.

Шланговые клапаны в качестве рабочего элемента имеют шланг из резины или пластмассы, которые пережимаются. Они используются для регулирования расходов сильнозагрязненной, агрессивной и волокноудерживающей среды, разных суспензий, шламов и т. д. Однако применение их ограничено: по температуре не более 80-90°C и по условному проходу — не более 150-200 мм.

Диафрагмовые клапаны обычно имеют корпус, футерованный резиной, пластмассой, фторопластом или эмалью, и диафрагму с тех же материалов. Эти клапаны применяют на загрязненных, агрессивных и волокноудерживающих растворах, шламах и суспензиях. Ограничение использования:

по температуре: 60-130°C,

по условному проходу: 15-150 мм.

Перекрывающие регулировочные органы применяют для самых разных сред, в том числе для суспензии концентрацией до 4%. Все перекрывающие РО неуравновешенны и требуют установки ИМ большой мощностью.

Шибберные (ножевые) затворы являются основной запорной арматурой для суспензий. Их изготавливают из обычной или кислотоустойчивой стали диаметром до 500 мм, на давление до 0,4 МПа.

Шаровые РО, в которых затвор представляет собой шар с прорезанным цилиндрическим отверстием, является наиболее надежными РО для суспензий.

В качестве ИМ применяют электрические, пневматические и гидравлические приводы. Электрические ИМ представляют собой электроприводы, которые предназначены для перемещения РО в системах автоматического управления. Они состоят из следующих элементов:

электродвигателя;

редуктора, который понижает количество оборотов;

выходного инструмента для механического сочленения с РО;

дополнительных инструментов, обеспечивающих остановку механизма в крайних положениях, самоторможение при отключении

электродвигателя, возможность ручного привода в случае выхода из строя системы автоматики или для настройки, обратную связь в автоматической системе управления, дистанционное показание и сигнализацию положения механизма.

Выходные инструменты электрических ИМ исполняют так, чтобы осуществить вращательное или прямолинейное движение. Механизмы с вращательными выходными инструментами могут быть однооборотными и многооборотными. Прямоходовые электрические ИМ предназначены для управления РО с прямолинейным перемещением. Электрические ИМ подключают к автоматическим регуляторам через пусковые инструменты и блоки ручного управления.

На основании вышеизложенного выбирают типы приборов контроля и регулирования для каждой контролируемой и регулируемой технологической переменной и включают их в спецификацию, которую складывают по следующей форме (табл. 2).

Таблица 2

**Спецификация приборов контроля и регулирования**

Позиция на схеме	Параметр	Прибор	Тип прибора	Границы измерения	Техническая характеристика	Количество

Так как технические средства автоматизации непрерывно развиваются, то самые последние реализации следует искать в интернет-источниках.

**РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СХЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ**

**Общая концепция.** Анализ промышленного процесса как объекта управления (см. 1) позволяет обоснованно построить функциональную схему автоматизации. Данная схема является основным технологическим документом, определяющим функциональную структуру и объем автоматизации технологических процессов.

Представляет собой чертеж, на котором условными обозначениями совмещены и изображены два «слоя» (рис. 3.1):

*технологический* - объекты управления (т. е. технологические установки, аппараты, агрегаты и т.п.) и связывающие их коммуникационные потоки (по сути это материальные потоки). Формируется на основе схемы материальных потоков и их информационных переменных;

**автоматизации** - средства автоматизации (датчики, приборы, вычислительные устройства, промышленные контроллеры и компьютеры и т.п.) с указанием связей между ними и технологическим оборудованием, а также связей между отдельными элементами автоматики. Формируется на основе структурной схемы САУ.

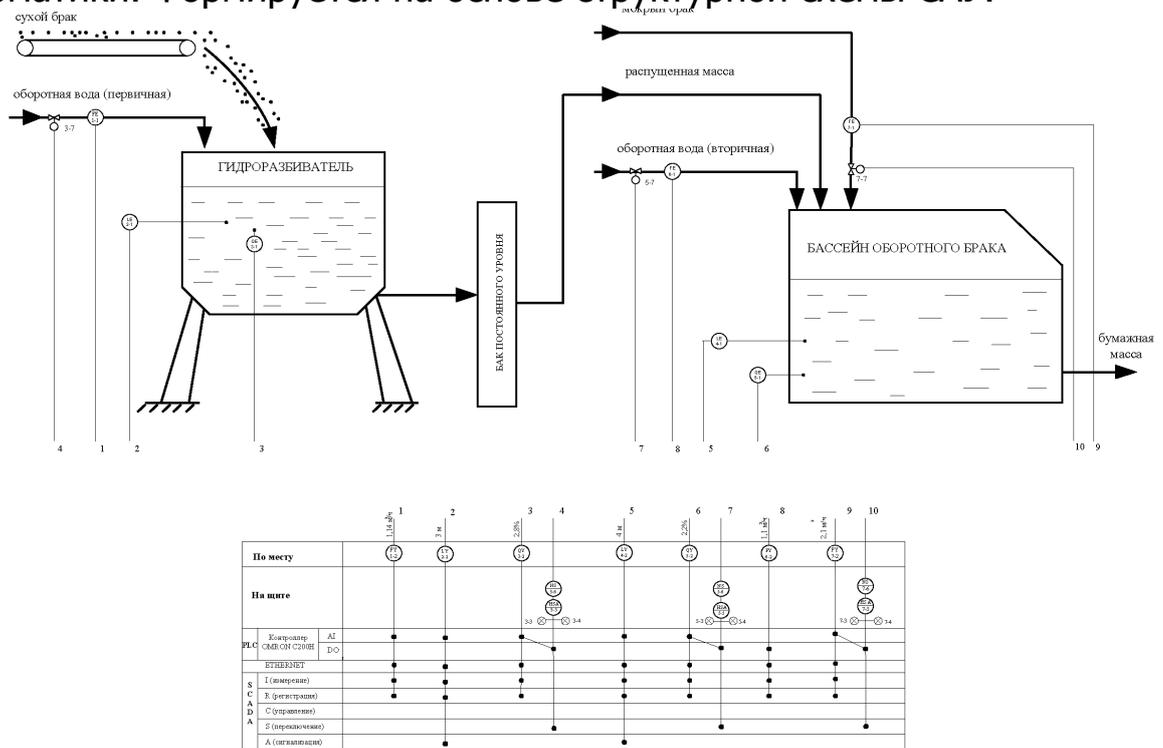


Рис. 3.1. Пример функциональной схемы автоматизации развернутым способом

**Обозначение объектов управления.** При построении функциональной схемы автоматизации целесообразно располагать технологическое оборудование и оборудование для перемещения материальных потоков (трубопроводы для потоков газообразных и жидких веществ, различные транспортеры для потоков сыпучих и твердых материалов) так, как это происходит традиционно при чтении: «слева-направо» и «сверху-вниз».

Технологическое оборудование и оборудование для перемещения материальных потоков изображают упрощенно (контурно, без второстепенных конструктивных деталей, чтобы оно было «узнаваемо»), но с учетом их взаимного расположения с приборами и средствами автоматизации. Допускается в отдельных случаях изображение частей объекта в виде прямоугольников с наименованием этих частей. Возле изображения делают поясняющие подписи (наименование оборудования или его позиционное обозначение) (рис. 3.2).

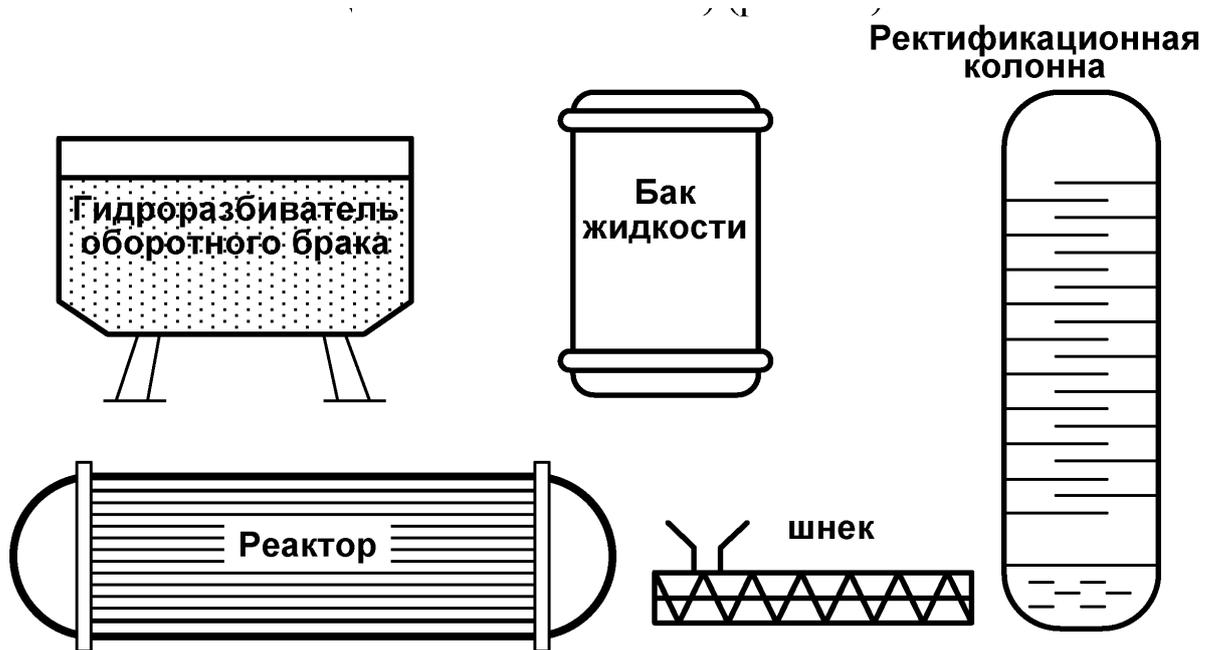
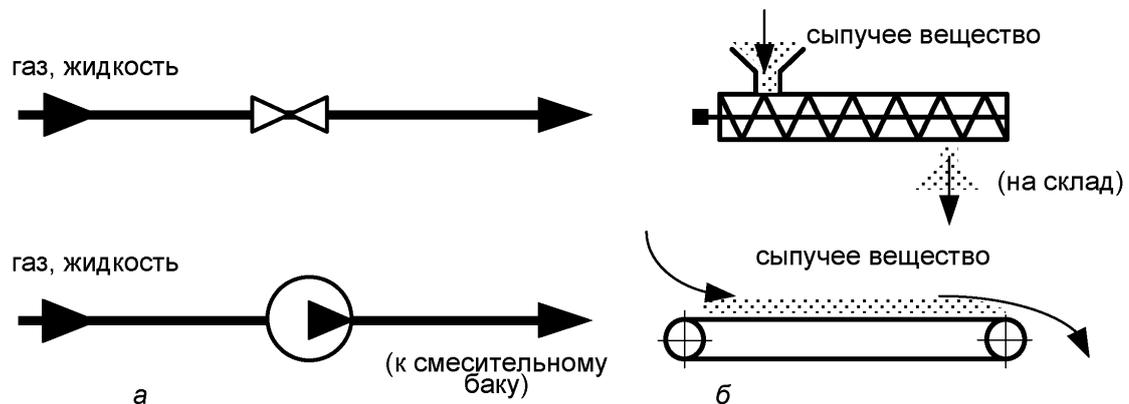


Рис. 3.2. Примеры отображения объектов управления (технологического оборудования и оборудования для перемещения материальных потоков) на функциональных схемах автоматизации

**Обозначение коммуникационных (материальных) потоков и их регулирующих устройств.** Для газообразных и жидких материальных потоков на трубопроводах и воздуховодах показывают только те регулирующие устройства (вентили, задвижки, заслонки, клапаны, запорные устройства и т.п.), которые участвуют в системе контроля в управления. На линиях трубопроводов ставят стрелки, указывающие направление потока вещества, желательно «слево-направо», т. е. от входа к выходу, даже если на технологической схеме они имеют другое направление (кроме того это, такие стрелки «приглашают» к чтению чертежа). Трубопроводы, идущие к конечным аппаратам и устройствам, в которых нет приборов и средств автоматизации, на схеме обрывают. На месте обрыва ставят стрелку и дают пояснение, например: (к фильтру) или (от насоса), (рис. 3.3, а). Для сыпучих и твердых материальных потоков показывают только те регулирующие устройства (различные транспортеры: ленточные, скребковые, ковшовые, шнеки и т.п.), которые участвуют в системе контроля в управления (рис. 3.3, б)



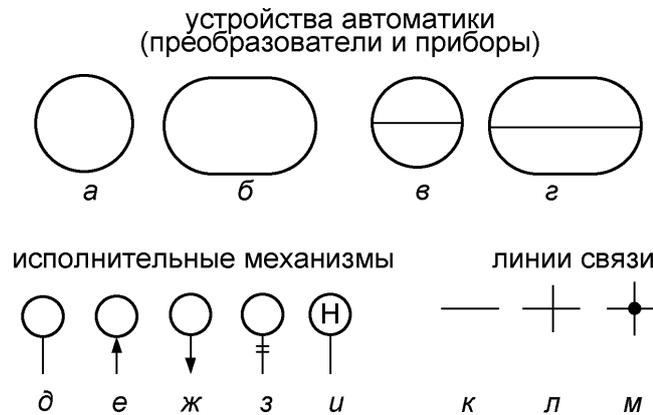
**Рис. 3.3.** Примеры отображения регулирующих устройств на материальных потоках а) на трубопроводах для газообразных и жидких сред – вентиль и насос б) для сыпучих веществ – шнек и ленточный транспортер

**Обозначение средств автоматизации: общие положения.**

На функциональных схемах в «слое» автоматизации показывают отборные устройства (которые можно назвать чувствительными элементами измерительных устройств), измерительные преобразователи, преобразующие и регулирующие приборы, вычислительные устройства, линии связи, переключатели, аппаратуру управления, исполнительные устройства, регулирующие механизмы (органы), элементы индикации и сигнализации, различные согласующие устройства и устройства обработки информации.

Простейшие вспомогательные устройства, такие, как реле, источники питания, выключатели и предохранители в цепях питания; соединительные коробки и другие устройства, и монтажные элементы на функциональных схемах не показывают. Для сложных производственных процессов с большим объемом автоматизации функциональные схемы могут быть выполнены отдельно, например: схемы автоматического управления, контроля, сигнализации.

На рис. 3.4 показаны обозначения приборов и исполнительных устройств на функциональных схемах автоматизации по ГОСТ 2.404- 85. Отборное устройство не имеет специального обозначения, а представляет собой тонкую сплошную линию, соединяющую технологический трубопровод или аппарат с первичным измерительным преобразователем. При необходимости указания точного места расположения отборного устройства или точки измерения (внутри технологического аппарата) в конце тонкой линии изображается окружность диаметром 2 мм.

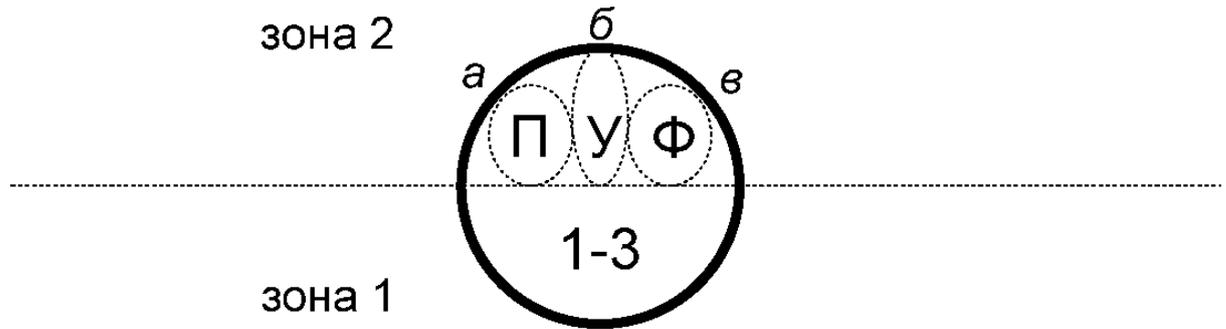


**Рис. 3.4.** Обозначение элементов функциональных схем автоматизации: а) устройство, устанавливаемое по месту (круг диаметром 10 мм), основное обозначение; б) устройство, устанавливаемое по месту, допускаемое обозначение; в) устройство, устанавливаемое на пульте, в щите (круг диаметром 10 мм), основное обозначение; г) устройство, устанавливаемое на пульте, в щите, допускаемое обозначение; д) исполнительный механизм, общее обозначение; е) исполнительный механизм, открывающий регулирующую орган (РО) при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала; ж) исполнительный механизм, закрывающий РО при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала; з) исполнительный механизм, который при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала оставляет РО в неизменном положении; и) исполнительный механизм с дополнительным ручным приводом; к) линия связи, общее обозначение; л) пересечение линии связи без соединения друг с другом; м) пересечение линии связи с соединением между собой.

Главным действующим лицом на рис. 3.4 являются два устройства: а) устанавливаемое по месту, в) устанавливаемое на пульте, в щите. Следует помнить, что практически все первичные преобразователи (датчики) располагаются по месту, а вторичные преобразователи, устройства отображения и регулирования в щитах и пультах. Их отличие - присутствие или наличие линии диаметра, делящего круг пополам. Имея форму круга (диаметром 10 мм) их условно можно разделить на две равные зоны (рис. 3.5):

нижняя зона 1 - указывается позиция и позиционное обозначение устройства. Состоит из двух частей: цифрового обозначения, присваиваемого комплекту (функциональной группе приборов) и цифровых индексов, присваиваемых отдельным элементам, входящим в комплект. Существует альтернативный вариант нумерации отдельных элементов - буквенными индексами (строчными буквами русского алфавита). Например, 1-1 (альтернативный вариант 1а), что означает: первый комплект- первое устройство, 1-2 (альтернативный вариант 1б),

что означает: первый комплект-второе устройство и т.д. Одинаковым комплектам или однотипным элементам одного комплекта присваивают одинаковые позиции независимо от места их установки; верхняя зона 2 - при помощи буквенных условных обозначений (по ГОСТ 2.404-85) указывается переменная (П) и функция (Ф) устройства.



**Рис. 3.5.** Зоны и поля заполнения устройств, устанавливаемых по месту и в щите или на пульте

Буквенные условные обозначения устройств располагают в следующем порядке слева направо (рис. 3.5, зона 2, поля *а*, *б* и *в*):

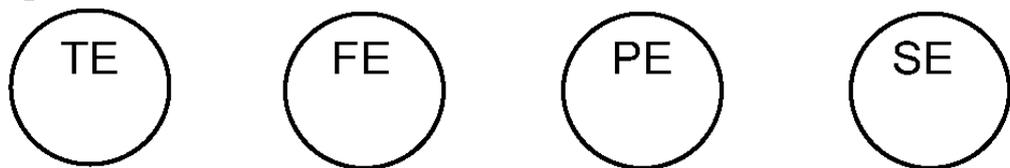
- а) обозначение основной измеряемой величины (Переменная);
- б) обозначение, уточняющее, если это необходимо (!), основную измеряемую величину (Уточнение);
- в) обозначение или обозначения функционального признака или признаков прибора (Функция).

*Обозначение основной измеряемой величины.* Измеряемые величины (технологические переменные) обозначают следующими буквами (основное обозначение букв): *О* - плотность; *Е* - любая электрическая величина; *Е* - расход; *О* - размер, положение, перемещение; *Н* - ручное воздействие; *К* - время или временная программа; *Ь* - уровень; *М* - влажность, *Р* - давление или вакуум;  $\langle 2$  - величина, характеризующая качество (состав, концентрацию и т. и.); *К* - радиоактивность;  $5^1$  - скорость или частота; *Т* - температура; *II* - несколько разнородных измеряемых величин; *V* - вязкость; *IV* - масса; *X* - не рекомендуемая резервная буква.

*Обозначение, уточняющее, если это необходимо, основную измеряемую величину.* Дополнительные значения при использовании в качестве второй по порядку буквы в обозначении прибора имеют следующие буквы: *О* - разность или перепад; *Р* - соотношение (доля, дробь);  $\wedge$  - автоматическое переключение или обегание;  $\langle 2$  - интегрирование (суммирование по времени).

Кроме того, часть букв, имеющих дополнительное значение, используется для уточнения типа приборов: *E* - первичное преобразование (чувствительный элемент); *K* - станция управления; *T* - промежуточное преобразование (дистанционная передача); *V* - преобразование, вычислительные функции.

Буква *E* (рис. 3.6) применяется для обозначения устройств, осуществляющих первичное преобразование сигналов (датчиков); *Г* - для обозначения приборов с дистанционной передачей показаний. Например, бесшкальных, *K* - для обозначения приборов, имеющих станцию управления, т. е. переключатель для выбора вида управления (автоматическое - ручное) и устройство для дистанционного управления; *V* - для построения обозначений преобразователей сигналов и вычислительных устройств.

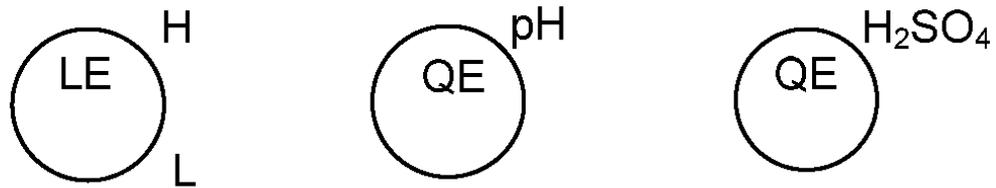


**Рис. 3.6.** Первичные преобразователи сигналов (датчики) наиболее часто встречающихся технологических параметров: температуры *T*, расхода *F*, давления *P*, скорости *S*

Обычно на первом месте ставится буква, обозначающая измеряемую величину, а на втором месте - одна из дополнительных букв *E*, *T*, *K* или *Г*. Например, датчики расходомеров - *EE'*, бесшкальные манометры с дистанционной передачей показаний - *PT* | бесшкальные расходомеры с дистанционной передачей - *ET* и т. д.

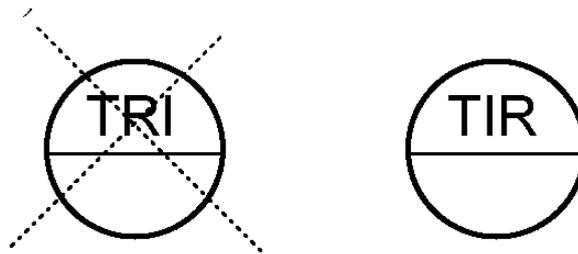
В качестве буквы, имеющей дополнительное значение, применяют: *И* - верхний предел измеряемой величины; *б* - нижний предел измеряемой величины. Буквы *И* и *б* наносят вне графического обозначения: справа от него.

Для конкретизации измеряемой величины (рис. 3.7) справа от изображения прибора необходимо указать наименование или символ измеряемой величины, например: напряжение, сила тока, рН,  $O_2$  и т.п. Для обозначения дополнительных значений *O*, *P*,  $<2$  допускается применение строчных букв *й*, */*, *ц*.



**Рис. 3.7.** Конкретизация измеряемой технологической переменной: первичный преобразователь уровня с верхней (High) и нижней (Low)

*Обозначение функционального признака или признаков прибора.* При обозначении функций, выполняемых прибором для отображения информации, используют буквы: / - показание; К - регистрация, для формирования выходного сигнала; С - регулирование или управление; 5<sup>1</sup> - включение (отключение или переключение); А - сигнализация. Если в одном приборе функциональных признаков несколько, то порядок расположения буквенных обозначений должен быть следующим: *1К С 8А* (рис. 3.8).



**Рис. 3.8.** Неправильная и правильная последовательность отображения функционального признака прибора

При построении условных обозначений преобразователей сигналов и вычислительных устройств применяют надписи, расшифровывающие вид преобразования или операции, выполняемые вычислительными устройствами. Их наносят справа от графического обозначения приборов. Для обозначения рода энергии сигнала используются буквы: *Е* - электрический; *Р* - пневматический; *О* - гидравлический. Виды форм сигнала обозначает: *А* - аналоговый; *О* - дискретный. Операции, выполняемые вычислительными устройствами, обозначают: *X* - суммирование; *К* - умножение на постоянный коэффициент  $K$ ;  $x$  - перемножение двух и более сигналов друг на друга;  $:$  - деление сигналов друг на друга;  $/^n$  - возведение величины сигнала/в степень  $n$ ;  $1/\sqrt{\sim}$  - извлечение из величины сигнала корня степени  $n$ ;  $1д$  - логарифмирование; *сб/ск* - дифференцирование;  $1$  - интегрирование;  $\times(-1)$  - изменение знака сигнала; *тах* - ограничение верхнего значения сигнала; *тт* - ограничение нижнего значения сигнала; *В*, - передача сигнала на компьютер; *В<sub>а</sub>* - вывод информации с компьютера.

**Обозначение линий связи.** Линии связи между приборами и средствами автоматизации на функциональной схеме изображаются однолинейно, тонкими сплошными линиями, независимо от фактического количества проложенных проводов или труб. Подвод линии связи к символу прибора допускается изображать в любой точке окружности (сверху, снизу, сбоку) по возможно кратчайшему расстоянию с минимальным числом изгибов и пересечений. Линии связи могут пересекать изображения технологического оборудования и коммуникаций. При необходимости указания направления передачи сигнала на линиях связи допускается наносить стрелки. При большом количестве линий связи допускается их разрыв (т. е. развернутый способ см. рис.3.1.). Для удобства пользования схемой оба конца линии нумеруют одной и той же арабской цифрой. Нумерация разрывов линии связи со стороны щитовых приборов дается в порядке возрастания номеров. Допускается разрывать только часть линий связи. На участках линии связи непосредственно у прямоугольников, изображающих щиты или комплекты местных приборов, указывают предельные рабочие (максимальные и минимальные) значения контролируемых или регулируемых величин. Разрежение (вакуум) обозначается знаком (-). Для встраиваемых в технологическое оборудование приборов, не имеющих линий связи с другими приборами, предельные значения величин указывают возле обозначений приборов.

В случае функционального взаимодействия линий связи в месте их пересечения ставится точка.

Толщина линий должна быть следующей:

- а) линии контуров агрегатов - 0,2-0,5 мм;
- б) трубопроводов - 0,5-1,5 мм;
- в) обозначение приборов и средств автоматизации - 0,5- 0,6 мм;
- г) линии связи - 0,2-0,3 мм;
- д) прямоугольников, изображающих щиты и пульта - 0,5 - 1 мм;
- е) выносок - 0,2- 0,3 мм.

Размеры букв и цифр выбирают следующие:

- а) для позиционных обозначений буквы и цифры высотой 3,5 мм;
- б) для пояснительного текста и надписей - 3,5-5,0 мм.

При необходимости на схеме располагают таблицу не предусмотренных стандартами условных обозначений (условные обозначения трубопроводов, приборов и средств автоматизации, полное название

принятых сокращений и различных заимствованных и резервных букв).

**Обозначение средств автоматизации: варианты применения.**

Приборы и средства автоматизации, расположенные на щитах, пультах, показывают в прямоугольниках, изображающих щиты и пульта (рис. 3.14).

Щит диспетчера	
----------------	--

**Рис. 3.14.** Изображение щитов и пультов на функциональных схемах автоматизации

Приборы и средства автоматизации, расположенные вне щитов и конструктивно не связанные непосредственно с технологическим оборудованием и коммуникациями, условно показывают в прямоугольнике «приборы местные». Прямоугольник располагают над прямоугольником щитов (рис.3.15).

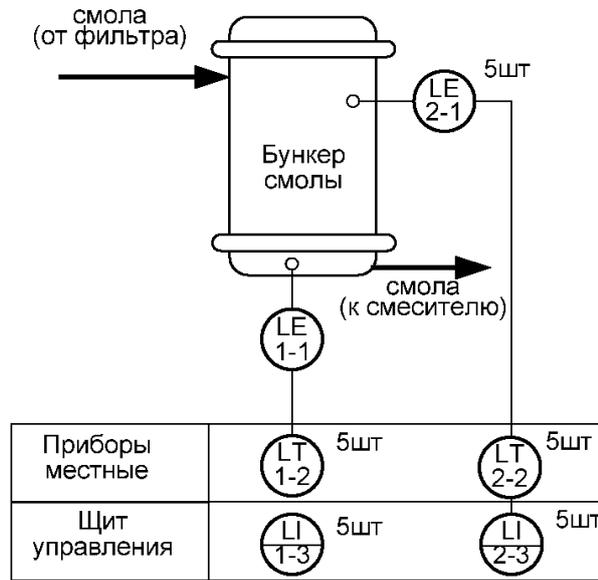
Приборы местные	
Щит оператора	

**Рис. 3.15.** Изображение приборов и средств автоматизации, расположенные вне щитов

Для однотипных технологических объектов, имеющих общие щиты, стивы с аппаратурой и приборами, на схеме рекомендуется показывать технологическое оборудование одного объекта, а приборы и средства автоматизации, устанавливаемые на щите, показывать полностью для всех объектов.

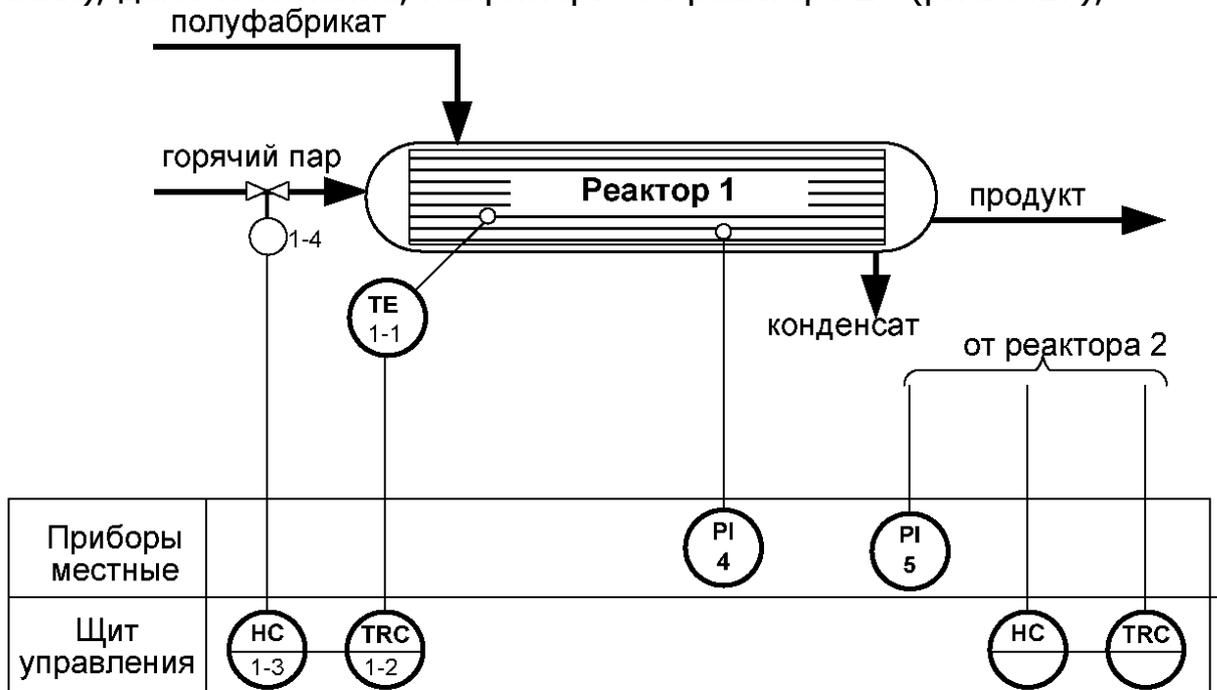
Рассмотрим различные варианты. Приборы, применяемые для контроля (регулирования), однотипны, контролируемые параметры имеют одинаковые значения, при этом все повторяющиеся приборы показывают на щите один раз, а около их обозначения проставляют количество в штуках (рис. 3.16);

Автоматические системы безопасности



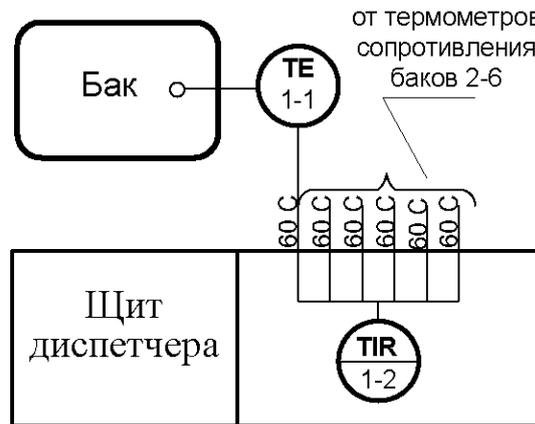
**Рис. 3.16.** Приборы и средства автоматизации однотипны и контролируемые параметры имеют одинаковые значения

Приборы однотипны, но контролируемые параметры имеют различные значения; при этом следует показывать на щите все приборы. Около линий связи, соединяющих приборы и средства автоматизации с управляемым объектом (без показанного технологического оборудования), дают пояснение, например: «от реактора 2» (рис. 3.17);



**Рис. 3.17.** Приборы и средства автоматизации однотипны, но контролируемые параметры имеют разные значения

При использовании многоточечного прибора для контроля какого-либо параметра в нескольких однотипных аппаратах на схеме показывают только один технологический аппарат и один датчик, а около прибора показывают линии связи от остальных датчиков (рис.3.18).

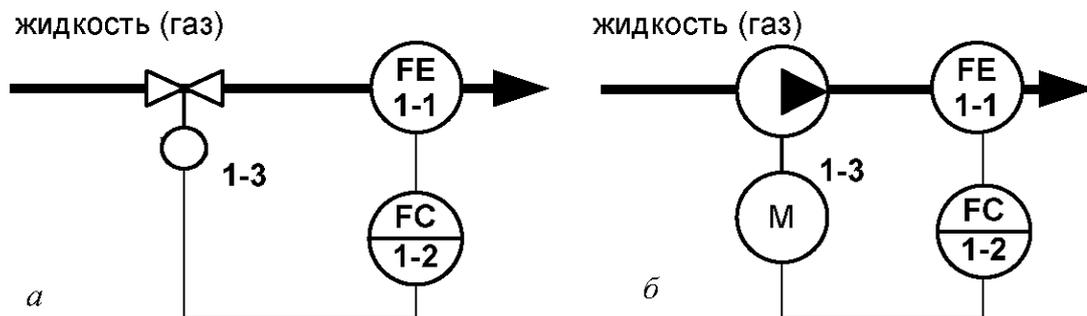


**Рис.3.18.** Схема включения многоточечного прибора для однотипных технологических объектов

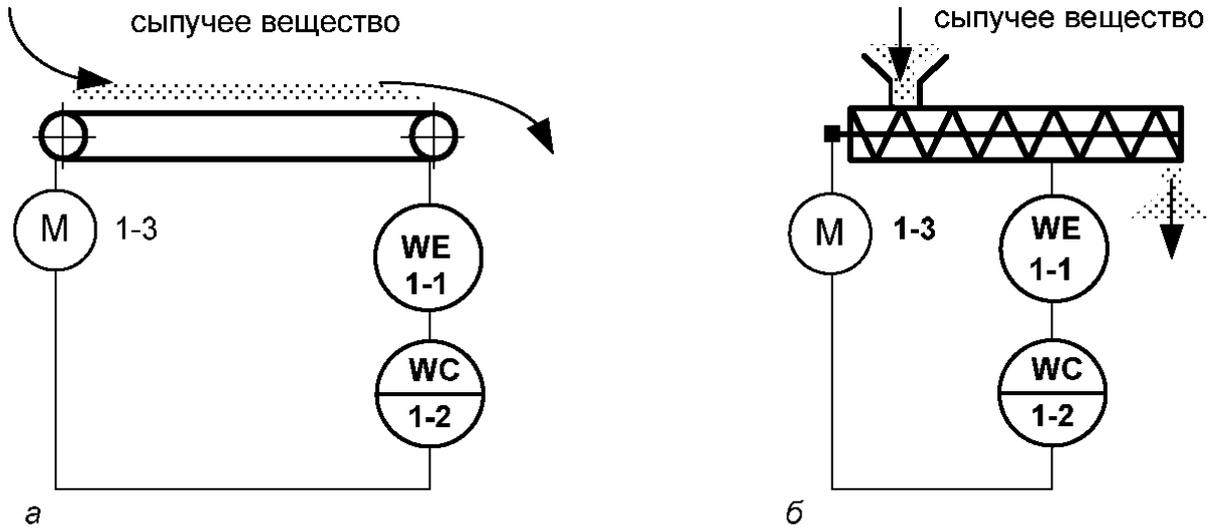
Приборы и средства автоматизации, встраиваемые в технологическое оборудование и коммуникации или механически связанные с ним, изображают на схеме в непосредственной близости к технологическому оборудованию.

**Примеры оформления функциональных схем автоматизации**

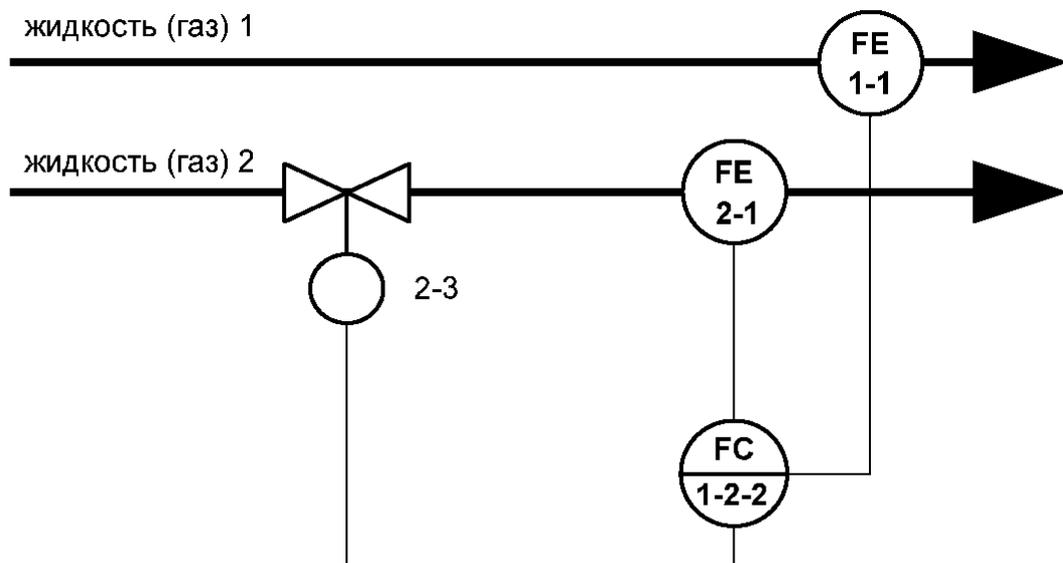
В примерах (3.19-3.21) рассмотрены возможные варианты построения функциональных схем автоматизации, выполненные совмещенным способом на основе традиционных регуляторов.



**Рис. 3.19.** Функциональные схемы систем автоматического регулирования (стабилизации) расхода жидкости (газа) при помощи изменения двух типовых схем: (а) проходного сечения вентиля (G – т. е. изменением его геометрии) и (б) числа оборотов насоса (S – т. е. изменением его частоты).



**Рис. 3.20.** Функциональная схема САУ (регулирования, стабилизации) массы сыпучего материала при помощи изменения числа оборотов (а) ленточного конвейера и (б) шнека



**Рис. 3.21.** Функциональная схема системы автоматического регулирования (стабилизации) соотношения двух компонентов (жидкостей, газов) при помощи вентиля.

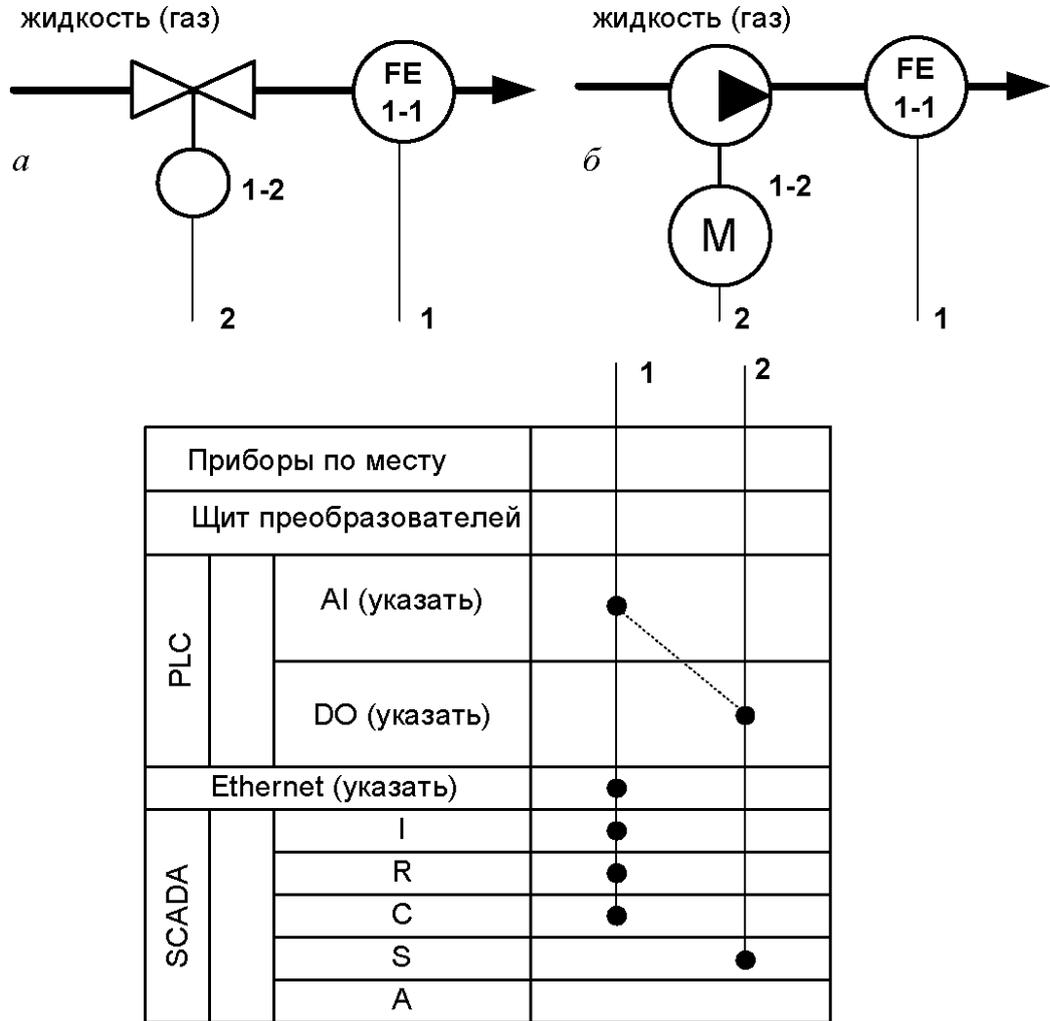
**Обозначение промышленных контроллеров (РВС) и рабочих станций ПСА 1)Л-систем.** Промышленные контроллеры (РВС) и операторские станции 8САВА-систем (системы диспетчерского управления) изображают с помощью прямоугольников. Их располагают в нижней части поля схемы в одном или нескольких горизонтальных рядах с указанием в каждом прямоугольнике соответствующего наименования.

При применении агрегатированных комплексов (промышленные контроллеры) и управляющих машин (рабочие станции 8САВА- систем) допускается, кроме общего наименования, приводить наименование их отдельных блоков и функций. При этом прямоугольник, изображающий комплекс (машину), делят горизонтальными линиями на части, число которых соответствует количеству блоков (модулей) или функций.

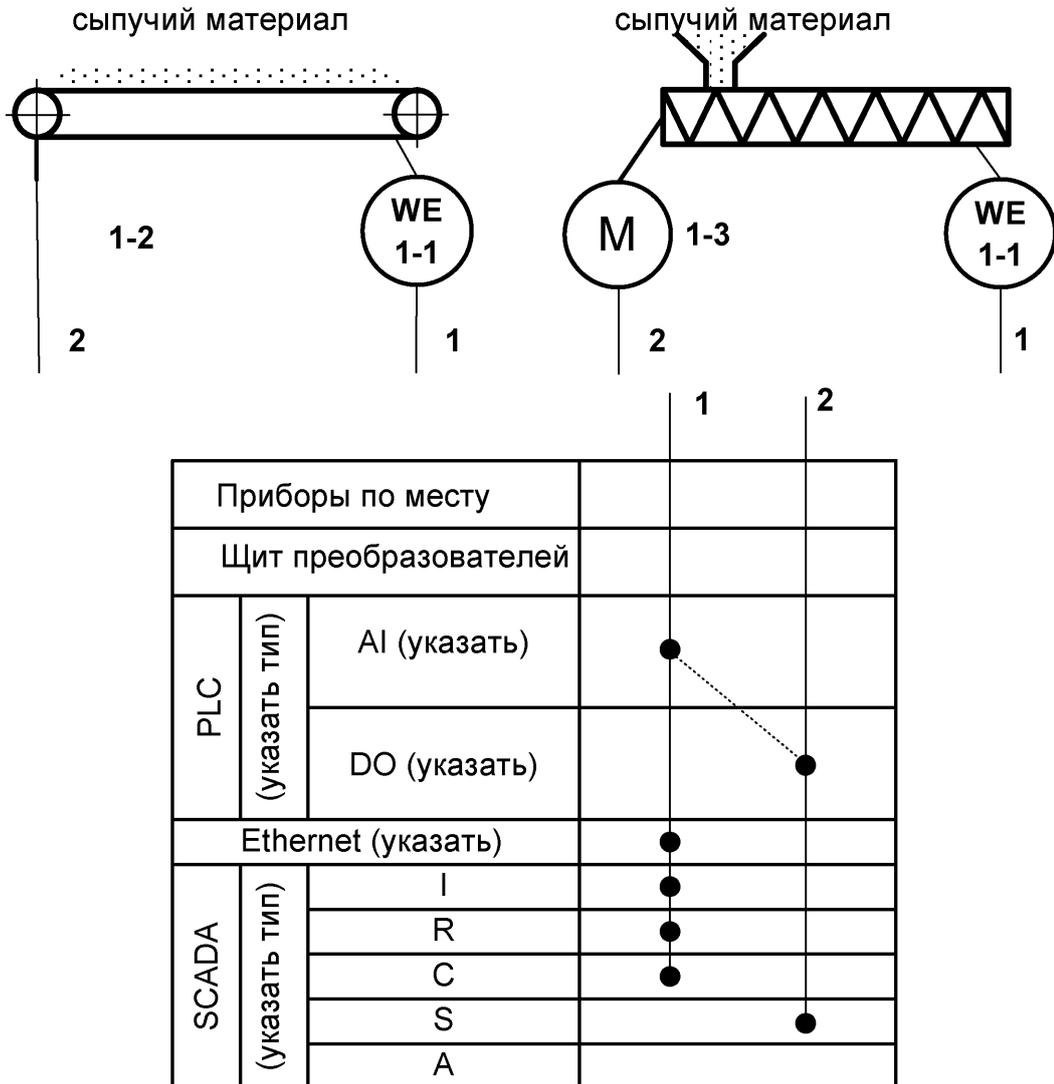
Для промышленного контроллера (в прямоугольнике указывается его тип, например, 81етеп8, Отгоп, ОЕ Рапис, А11еп-Вга(11еу и т. и.) таким делением является наличие аналоговых (Апа1о§) и дискретных (В18сге1:е) модулей ввода (1при1) и вывода (Ои1ри1:). Таким образом, возможны следующие варианты модулей *А1* (аналоговый ввод), *АО* (аналоговый вывод), *В1* (дискретный ввод), *ВО* (дискретный вывод) с уточнением конкретного типа модуля для соответствующего контроллера. Взаимосвязь между модулями ввода и вывода (т. е. реализацию *обратной связи*) показывают условной штрихпунктирной линией, точно так же, как и обратную связь на структурной схеме системы автоматического управления (см. 1.2)

При обозначении функций, осуществляемых операторскими станциями 8САЕ)А-систем (указывается ее конкретная программная реализация, например, 1п Тоисй, Идх, Оепе818, ШтСС, Тгасе Мойе и т. и.) целесообразно использовать те же буквы, что и при обозначении функциональных признаков приборов автоматизации: *1* - показание; *К* - регистрация; *С* - регулирование или управление; *5<sup>1</sup>* - включение (отключение или переключение); *А* - сигнализация и отмечать их наличие на мнемосхеме 8САВА-системы соответствующим знаком (точкой).

На рис. 3.22-24 показаны примеры схем автоматизации с применением промышленных контроллеров и рабочих станций 8САВА- систем.



**Рис. 3.22.** Функциональные схемы систем автоматического регулирования (стабилизации) расхода жидкости (газа) при помощи изменения (а) проходного сечения вентиля и (б) числа оборотов насоса (частотное) на основе промышленного контроллера и рабочей станции SCADA-системы



**Рис. 3.23.** Функциональная схема САУ (регулирования, стабилизации) массы сыпучего материала при помощи изменения числа оборотов (а) ленточного конвейера и (б) шнека на основе промышленного контроллера и рабочей станции SCADA-системы

#### 4. ТЕСТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ



Автоматические системы безопасности

№	Вопросы	Варианты ответов
1.	Что является основными характеристиками АСУ ТП ?	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Эффект от ее создания и функции, выполняемые системой.</li><li>2. Назначение системы и функции управления, выполняемые системой.</li><li>3. Цель создания и информационные функции, выполняемые системой.</li><li>4. Цель функционирования и характеристики технических средств системы.</li><li>5. Цель ее создания и функции, выполняемые системой.</li></ol>
2.	Как разделяются функции АСУ ТП по их назначению?	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Основные и дополнительные.</li><li>2. Характеристические и условные.</li><li>3. Основные и вспомогательные.</li><li>4. Управляющие и вспомогательные.</li><li>5. Количественные и качественные.</li></ol>
3.	Передача АСУ ТП в промышленную эксплуатацию подтверждается:	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Протоколом опытной эксплуатации.</li><li>2. Утвержденным Техническим заданием.</li><li>3. Актом приемо-сдаточных испытаний.</li><li>4. Технико-экономическим обоснованием.</li><li>5. Эксплуатационной документацией.</li></ol>
4.	Определите параметры стандартных основных сигналов в ГСП.	<ol style="list-style-type: none"><li>1. 0 – 25 мА, 0 – 100 мВ, 20 – 100 кПа, 0 – 2 В.</li><li>2. 2 – 5 мА, 0 – 1000 мВ, 50 – 100 кПа, 0 – 12 В.</li><li>3. 0 – 5 мА, 0 – 10 мВ, 2 – 10 кПа, 0 – 12 В.</li><li>4. 0 – 5 мА, 0 – 1000 мВ, 2 – 10 кПа.</li><li>5. 0 – 5 мА, 0 – 1000 мВ, 2 – 100 кПа, 0 – 12 В.</li></ol>
5.	Предварительная оценка возможности реализации основных	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Разработки технико-экономического обоснования.</li></ol>



Автоматические системы безопасности

	функций АСУ ТП осуществляется на стадии:	<ol style="list-style-type: none"><li>2. Разработки Эскизного проекта.</li><li>3. Разработки Технического задания.</li><li>4. Разработки Технорабочего проекта.</li><li>5. Разработки рекомендаций по подготовке объекта к вводу АСУ ТП.</li></ol>
6.	Определите режим непосредственного цифрового управления (НЦУ).	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Управляющие воздействия формирует и реализует УВК, а функции оператора сводятся к наблюдению за процессом.</li><li>2. Исходная информация частично формируется оператором, а само управление реализуется автоматически.</li><li>3. УВК выполняет расчет и изменение уставок и настроек регуляторам технологических параметров, а оператор вмешивается в процесс управления при особых режимах работы объекта.</li><li>4. Рекомендации по управлению вырабатываются автоматически, а решение по их реализации и выполнению осуществляется оператором.</li><li>5. Рекомендации по управлению вырабатываются оператором и осуществляется автоматически.</li></ol>
7.	Как следует определить проект-ную процедуру?	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Алгоритм выполнения проектного решения.</li><li>2. Совокупность действий, выполнение которых заканчивается принятием и оформлением проектного решения.</li><li>3. Последовательность действий реализации проектного решения.</li><li>4. Последовательность действий, заканчивающаяся изготовлением проектной документации.</li><li>5. Процедура оформления проектного решения.</li></ol>
8.	Требования к помещениям, где будет располагаться АСУ ТП,	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Разработки технико-экономического обоснования.</li></ol>



Автоматические системы безопасности

	формируются на стадии:	<ol style="list-style-type: none"><li>2. Разработки Технорабочего проекта.</li><li>3. Разработки Технического задания.</li><li>4. Разработки Эскизного проекта.</li><li>5. Разработки рекомендаций по подготовке объекта к вводу АСУ ТП.</li></ol>
9.	Что объединяет следующие характеристики АСУ ТП: показатели эксплуатационной надежности системы в целом, показатели эксплуатационной надежности отдельных функций АСУ ТП, показатели технико-экономической эффективности, функционально-алгоритмическая развитость системы?	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Данные показатели определяются на этапе - Анализ функционирования АСУ ТП.</li><li>2. Данные показатели позволяют объективно оценить качество созданной АСУ ТП.</li><li>3. Данные показатели позволяют разработать рекомендации по усовершенствованию разработанной АСУ ТП.</li><li>4. Данные показатели позволяют оценить возможность создания типовых решений.</li><li>5. Данные показатели объединяет все перечисленное в первых четырех пунктах.</li></ol>
10.	Определите стадии проектирования АСУ ТП .	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Технико-экономическое обоснование, Сметный расчет и Рабочий проект.</li><li>2. Технический проект, Рабочий проект.</li><li>3. Технико-экономическое обоснование и Техно-Рабочий проект.</li><li>4. Технико-экономическое обоснование, Техническое задание, Техно-рабочий проект.</li><li>5. Техническое задание, Технический проект, Рабочий проект.</li></ol>
11.	Выберите буквенные обозначения для устройства контроля и регистрации замутненности очищенного продукта и передающего информационный сигнал на микроконтроллер.	<ol style="list-style-type: none"><li>1. FFIC, Vo.</li><li>2. WIR, Vi.</li><li>3. QIR, Vi.</li><li>4. QIRC, ViBo.</li></ol>



Автоматические системы безопасности

		5. PDIC, Во.
12.	Определите работы, выполняемые на стадии разработки Технического задания на создание системы управления.	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Составление функциональной схемы контроля и регулирования.</li><li>2. Составление Технического задания на ЛСКР.</li><li>3. Определение основных параметров и требований к информационной части системы управления.</li><li>4. Формирование перечня подсистем и задач, входящих в систему управления, определение состава и требований к обеспечивающей части.</li><li>5. Ориентировочный выбор исполнительных механизмов системы управления и составление заявок на аппаратуру.</li></ol>
13.	Определите правило, по которому необходимо осуществлять выбор конкретных типов устройств автоматики.	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Для контроля и регулирования одинаковых параметров следует применять приборы одинакового класса.</li><li>2. Класс точности приборов должен соответствовать технологическим требованиям.</li><li>3. В условиях запыленных промышленных помещений рекомендуется применять пневматические приборы.</li><li>4. Следует отдавать предпочтение автоматическим устройствам одного изготовителя.</li><li>5. Для местного контроля рекомендуют многоточечные приборы.</li></ol>