

**ЛЕКЦИЯ №5**

**СТРУКТУРНЫЕ СХЕМЫ И ИХ  
ПРЕОБРАЗОВАНИЕ.**

**ТИПОВЫЕ ДИНАМИЧЕСКИЕ  
ЗВЕНЬЯ САУ И ИХ  
КЛАССИФИКАЦИЯ**

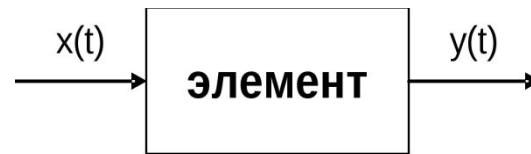
**САУ** представляет собой совокупность нескольких устройств, в которых происходят явления различной физической природы.

\*

Составление математического описания конструктивного элемента системы управления состоит из следующих последовательно выполняемых процедур:

- принятие определенных допущений,
- выбор входных и выходных переменных,
- выбор системы отсчета для каждой переменной,
- применение физического закона, отражающего в математической форме закономерности преобразования энергии или вещества.

Для элемента, имеющего один **входной**  $X(t)$  и один **выходной**  $Y(t)$  сигнал, обыкновенное дифференциальное уравнение записывается в общем случае следующим образом



$$a_n \frac{d^n y}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} y}{dt^{n-1}} + \dots + a \frac{dy}{dt} + a_0 y = b_m \frac{d^m x}{dt^m} + \dots + b_1 \frac{dx}{dt} + b_0 x \quad (*)$$

- ❖  $a, b$  – косвенные коэффициенты системы;
- ❖  $x, y$  – выходной и входной сигналы;
- ❖  $n$  – порядок выходного сигнала;
- ❖  $m$  – порядок входного сигнала.

Данное выражение также называют **оператором линейной стационарной системы**.

Если в уравнении (\*) функции времени  $x(t)$ ,  $y(t)$  заменить на функции комплексной переменной  $X(p)$ ,  $Y(p)$ , то дифференциальное уравнение будет равносильно уравнению:

$$\begin{aligned} a_n p^n Y(p) + a_{n-1} p^{n-1} Y(p) + \dots + a_1 p Y(p) + a_0 Y(p) = \\ = b_m p^m X(p) + b_{m-1} p^{m-1} X(p) + \dots + b_1 p X(p) + b_0 X(p) \end{aligned}$$

Операция перехода от исходной функции  $y(t)$  к ее изображению  $Y(p)$  называется *прямым преобразованием Лапласа*.

*Обратное преобразование Лапласа* - операция перехода от изображения функции к ее оригиналу.

*Передаточной функцией  $W(p)$* — называется отношение изображения по Лапласу выходной величины к изображению по Лапласу входной величины при нулевых начальных условиях.

$$W(p) = \frac{Y(p)}{X(p)}$$

Рассматривая дифференциальное уравнение

$$a_n \frac{d^n y}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} y}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y = b_m \frac{d^m x}{dt^m} + \dots + b_1 \frac{dx}{dt} + b_0 x$$

и находя изображение для левой и правой частей уравнения

$$\begin{aligned} a_n p^n Y(p) + a_{n-1} p^{n-1} Y(p) + \dots + a_1 p Y(p) + a_0 Y(p) = \\ = b_m p^m X(p) + b_{m-1} p^{m-1} X(p) + \dots + b_1 p X(p) + b_0 X(p) \end{aligned}$$

получаем

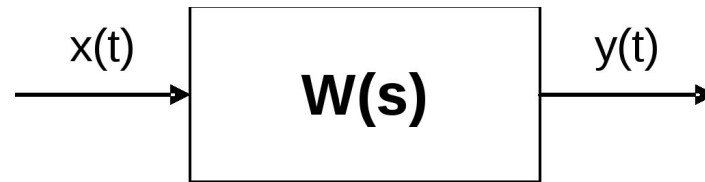
$$K(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = \frac{b_m p^m + b_{m-1} p^{m-1} + \dots + b_1 p + b_0}{a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_1 p + a_0}$$

Зная передаточную функцию автоматической системы и изображение входного сигнала, легко найти изображение выходного сигнала:

$$Y(p) = K(p)X(p)$$

Передаточная функция и структура линейной стационарной системы могут быть представлены эквивалентным соединением **динамических звеньев**.

***Динамическим звеном*** называется любой элемент системы автоматического управления, имеющий определенное математическое описание, т.е. для которого известна передаточная функция  
ДЗ изображается на схеме в виде прямоугольника.



## **Типовые динамические звенья**

***Типовые динамические звенья*** – это минимально необходимый набор звеньев для описания системы управления произвольного вида.

***К типовым звеньям относятся:***

- ✓ пропорциональное звено;
- ✓ апериодическое звено I-ого порядка;
- ✓ апериодическое звено II-ого порядка;
- ✓ колебательное звено;
- ✓ интегрирующее звено;

# Типовые динамические звенья

Колебательное звено

$$W(p) = \frac{k}{T^2 p^2 + 2T\xi p + 1}$$

Консервативное звено

$$W(p) = \frac{k}{T^2 p^2 + 1}$$

Апериодическое  
(инерционное) звено 1  
порядка

$$W(p) = \frac{k}{(Tp + 1)}$$

Апериодическое (инерционное) звено 2  
порядка

$$W(p) = \frac{k}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}$$

Усилительное звено  
(безынерционное,  
пропорциональное)

$$W(p) = k$$

Идеально-интегрирующее звено

$$W(p) = \frac{k}{p}$$

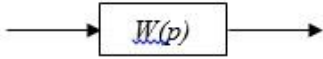
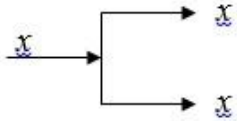
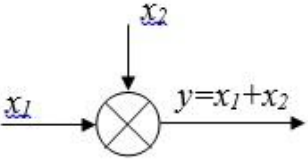
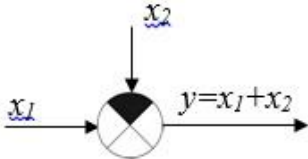
# Структурные преобразования систем.

## Структурные схемы

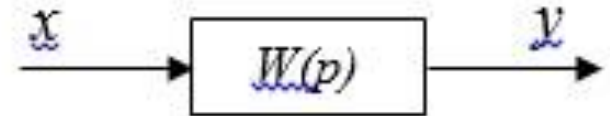
**Структурной схемой** называется условное графическое изображение математической модели автоматической системы .

Структурная схема состоит из изображений элементарных динамических звеньев в виде прямоугольников, в которых записаны их передаточные функции и элементы коммутации .

### Элементы структурных схем

Графическое изображение	Значение
	Стрелками указываются все внешние воздействия и связи элементов между собой
	Узел разветвления
	Сумматор
	Вычитающее устройство

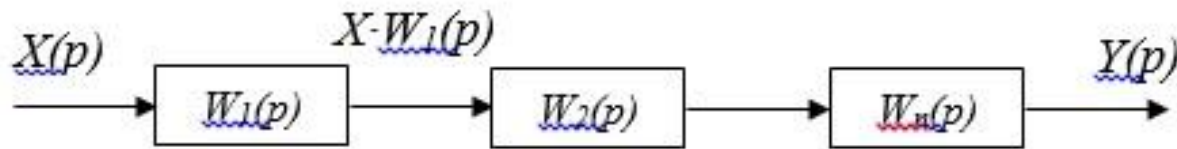
### Простейшая структурная схема





# Основные типы соединения элементов

1. При *последовательном* соединении элементов выходной сигнал каждого предшествующего элемента является входным сигналом последующего элемента

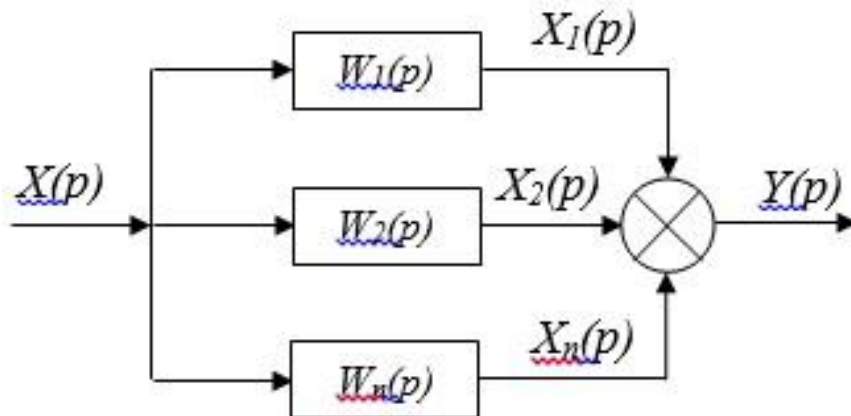


Передаточная функция системы:

$$W(p) = \frac{Y(p)}{X(p)} = W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot \dots \cdot W_n(p)$$

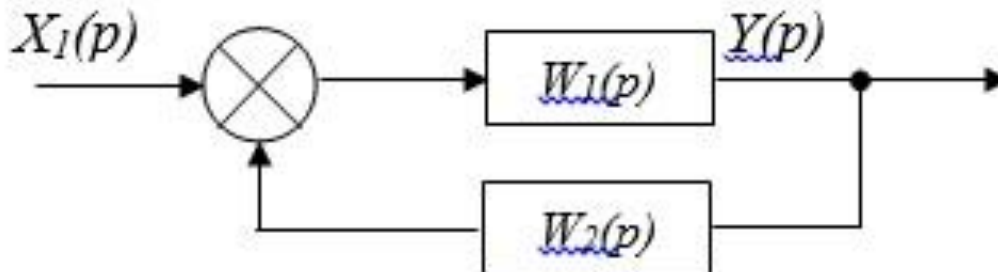
2. *Параллельным* соединением звеньев называется такое соединение, при котором на вход всех элементов поступает одно и то же воздействие, а их выходные величины алгебраически суммируются:

Передаточная функция системы:



$$W(p) = \sum_{i=1}^n W_i(p)$$

3. **Встречно-параллельным** соединением двух элементов называют такое соединение, при котором выходной сигнал первого элемента поступает на вход второго, а выходной сигнал второго элемента алгебраически суммируется с общим входным сигналом:



Передаточная функция отрицательной обратной связи:

$$W(p) = \frac{W_p(p)}{1 + W_p(p) \cdot W_{oc}(p)}$$

Передаточная функция положительной обратной связи:

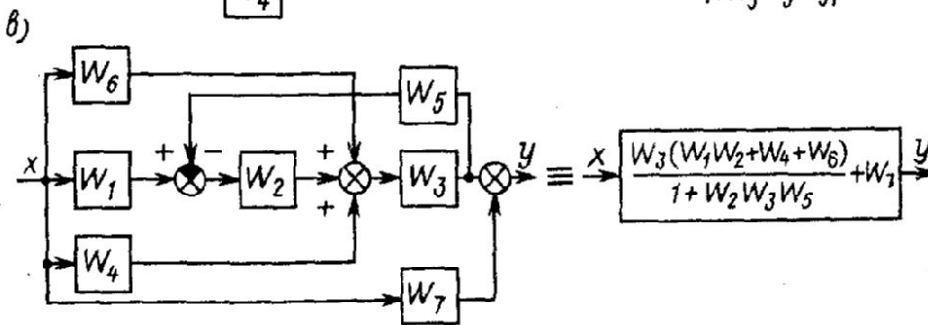
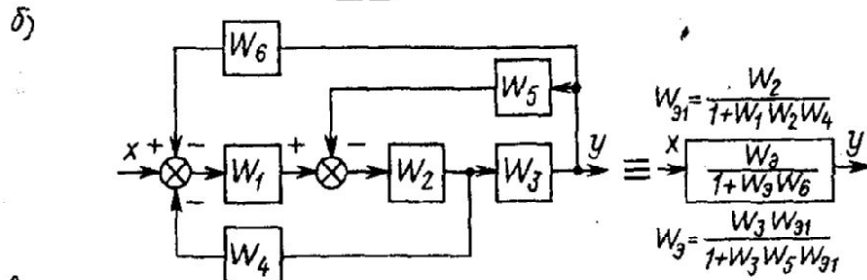
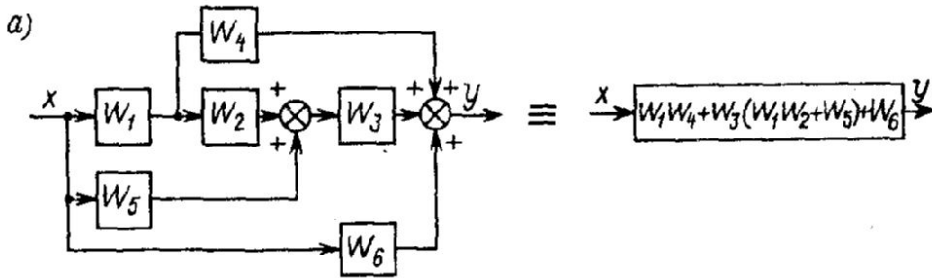
$$W(p) = \frac{W_p(p)}{1 - W_p(p) \cdot W_{oc}(p)}$$

$W_p(p)$  – передаточная функция разомкнутой системы;

$W_{oc}(p)$  – передаточная функция обратной связи;

# Правила преобразования схем

Структурную схему любой сложности можно привести к эквивалентной одноконтурной разомкнутой структурной схеме.



Сущность метода состоит в том, что используя правила **последовательного, параллельного и встречно-параллельного** (с обратной связью) соединений звеньев, получают эквивалентную передаточную функцию  $W_3$ .

Структурные преобразования схем являются допустимыми, если они сохраняют неизменными все входные и выходные сигналы системы.

# Функциональные схемы автоматизации


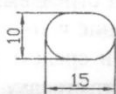

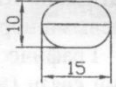
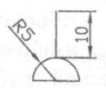
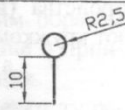
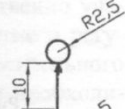
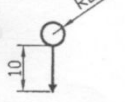
## *Функциональная схема автоматизации (ФСА)*

представляет собой чертеж, на котором схематически условными обозначениями изображены: технологическое оборудование; коммуникации; органы управления и средства автоматизации (приборы, регуляторы, вычислительные устройства) с указанием связей между технологическим оборудованием и элементами автоматики, а также связей между отдельными элементами автоматики.

# Изображение технологического оборудования и коммуникаций

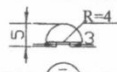




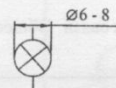
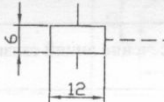
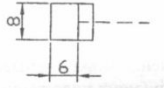
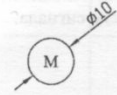


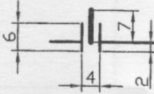
Технологическое оборудование и коммуникации на ФСА изображают упрощенно (в сокращенном виде), без указания технологических аппаратов и трубопроводов вспомогательного назначения. Масштаб при этом не соблюдается. Изображенная таким образом технологическая схема должна давать ясное представление о принципе работы и взаимодействии со средствами автоматизации.

Таблица 1  
Размеры условных графических обозначений приборов, средств автоматизации и линий связи по ГОСТ 21.404-85

Наименование	Обозначение
1. Первичный измерительный преобразователь, прибор, устанавливаемый по месту (на технологическом трубопроводе, аппарате, стене и т. д.): а) основное обозначение	
б) допускаемое обозначение	
2. Прибор, средства автоматизации, устанавливаемые дистанционно: а) основное обозначение	
б) допускаемое обозначение	
3. Отборное устройство без постоянно подключенного прибора (служит для эпизодического подключения приборов, снятия характеристик и т. д.)	
4. Исполнительный механизм. Общее обозначение	
5. Исполнительный механизм, который при прекращении подачи энергии или управляющего сигнала: а) открывает регулирующий орган	
б) закрывает регулирующий орган	

6

Таблица 2  
Дополнительные устройства, обозначения которых заимствованы из стандартов ЕСКД

Наименование	Условное графическое обозначение
1. Звонок электрический: общее обозначение постоянного тока переменного тока одноударный (гонг)	   
2. Гудок электрический	
3. Лампа сигнальная	
4. Приводы: электромагнитный пневматический или гидравлический электромашинный	  
5. Клапан регулирующий трехходовой	
6. Заслонка регулирующая	
7. Шиббер регулирующий	

8

**Буквенные условные обозначения измеряемых величин и функций автоматизации  
по ГОСТ 21.404–85**

Обозначение	Измеряемая величина		Функциональный признак прибора		
	Основное обозначение измеряемой величины	Дополнительное обозначение, уточняющее измеряемую величину	Отображение информации	Формирование выходного сигнала	Дополнительное значение
<i>A</i>	+	–	Сигнализация	–	–
<i>B</i>	+	–	–	–	–
<i>C</i>	+	–	–	Автоматическое регулирование, управление	–
<i>D</i>	Плотность	Разность, перепад	–	–	–
<i>E</i>	Электрическая величина	–	+	–	–
<i>F</i>	Расход	Соотношение, доля, дробь	–	–	–
<i>G</i>	Размер, положение, перемещение	–	+	–	–
<i>H</i>	Ручное воздействие	–	–	–	Верхний предел измеряемой величины

Обозначение	Измеряемая величина		Функциональный признак прибора		
	Основное обозначение измеряемой величины	Дополнительное обозначение, уточняющее измеряемую величину	Отображение информации	Формирование выходного сигнала	Дополнительное значение
<i>I</i>	+	–	Показание	–	–
<i>J</i>	+	Автоматическое переключение, обегание	–	–	–
<i>K</i>	Время, временная программа	–	–	+	–
<i>L</i>	Уровень	–	–	–	Нижний предел измеряемой величины
<i>M</i>	Влажность	–	–	–	–
<i>N</i>	+	–	–	–	–
<i>O</i>	+	–	–	–	–
<i>P</i>	Давление, вакуум	–	–	–	–
<i>Q</i>	Величина, характеризующая качество: состав, концентрация и т. п.	Интегрирование, суммирование по времени	–	+	–

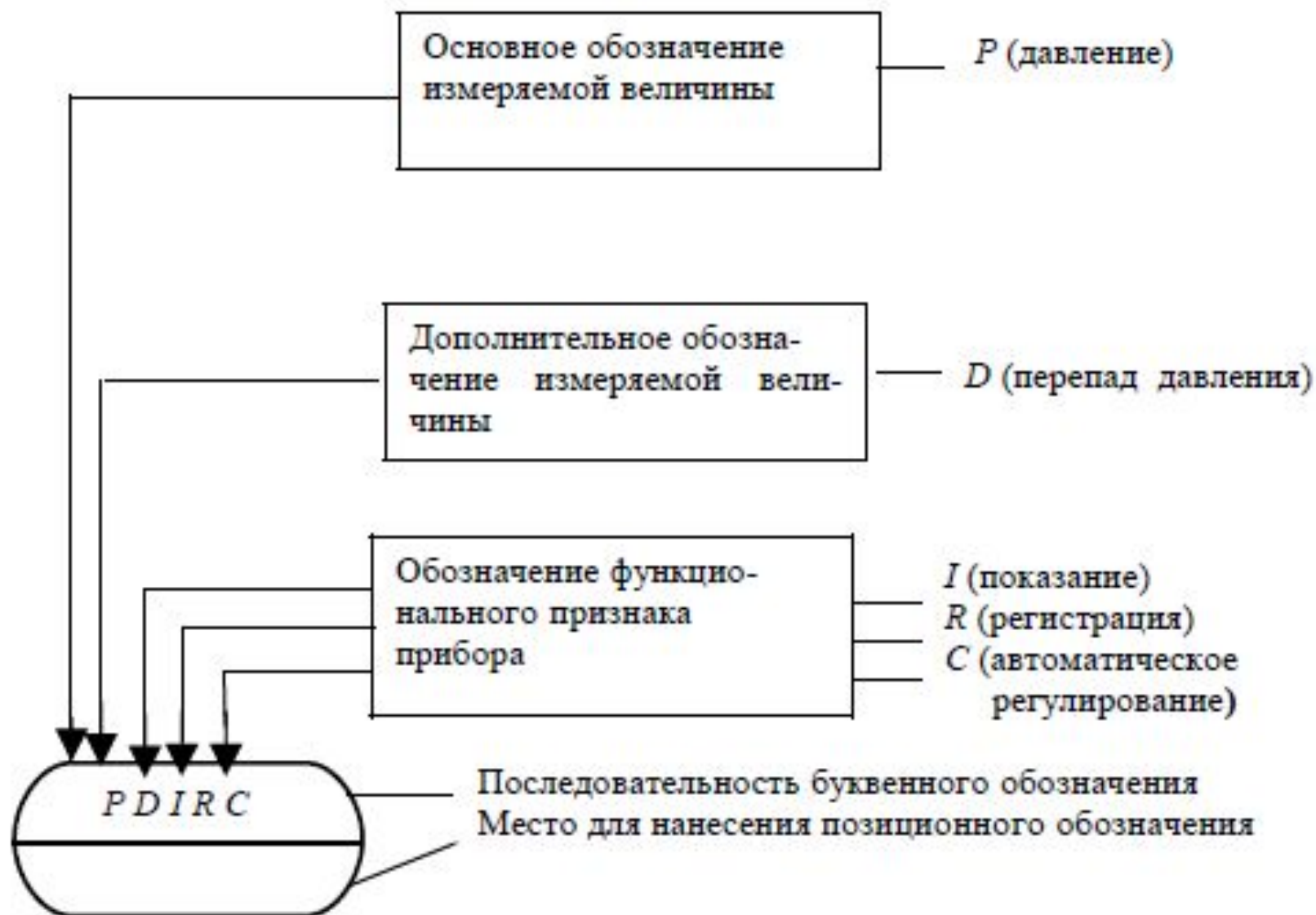


Обозначение	Измеряемая величина		Функциональный признак прибора		
	Основное обозначение измеряемой величины	Дополнительное обозначение, уточняющее измеряемую величину	Отображение информации	Формирование выходного сигнала	Дополнительное значение
<i>R</i>	Радиоактивность	–	Регистрация	–	–
<i>S</i>	Скорость, частота	–	–	Включение, отключение, переключение, блокировка	–
<i>T</i>	Температура	–	–	+	–
<i>U</i>	Несколько разнородных измеряемых величин	–	–	–	–
<i>V</i>	Вязкость	–	+	–	–
<i>W</i>	Масса	–	–	–	–
<i>X</i>	Нерекомендуемая резервная буква	–	–	–	–
<i>Y</i>	+	–	–	+	–
<i>Z</i>	+	–	–	+	–

Примечание. Буквенные обозначения, отмеченные знаком “+”, являются резервными, а отмеченные знаком “–” не используются.

**Дополнительные буквенные обозначения, применяемые  
для указания дополнительных функциональных признаков приборов  
по ГОСТ 21.404–85**

Наименование	Обозначение	Назначение
Чувствительный элемент	<i>E</i>	Устройства, выполняющие первичное преобразование: преобразователи термозлектрические, термопреобразователи сопротивления, датчики пирометров, сужающие устройства расходомеров и т. д.
Дистанционная передача	<i>T</i>	Приборы бесшкальные с дистанционной передачей сигнала: манометры, дифманометры, манометрические термометры
Станция управления	<i>K</i>	Приборы, имеющие переключатель вида управления и устройство для дистанционного управления
Преобразование, вычислительные функции	<i>Y</i>	Для построения обозначений преобразователей сигналов и вычислительных устройств



## **Методы построения условных обозначений**

**1 При упрощенном методе** построения приборы и средства автоматизации, осуществляющие сложные функции, например контроль, регулирование и сигнализацию, и выполняемые в виде отдельных блоков, изображают одним условным обозначением.

**2 При развернутом методе** построения каждый прибор или блок, входящий в единый измерительный, регулировочный или управляющий комплект средств автоматизации, указывают отдельным условным обозначением.

Преимуществом развернутого способа является большая наглядность и возможность легкой и быстрой ориентации в распределении аппаратуры по пунктам управления. Достоинством упрощенного способа является меньшая трудоемкость составления схем автоматизации и непосредственное ее совмещение со схемой технологического процесса

При *упрощенном способе* первичный измерительный преобразователь (диафрагма или сопло) не показан. Исполнительный механизм обозначения не имеет.

При *развернутом способе* показаны:

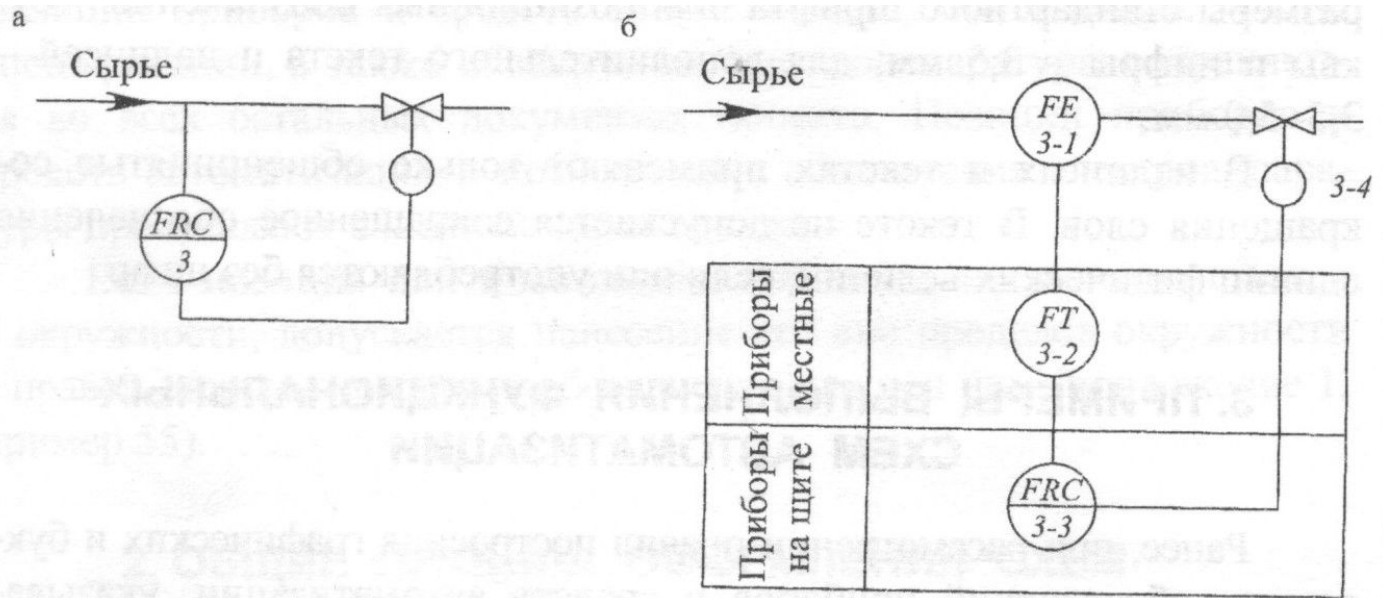
1 первичный измерительный преобразователь (поз. 3-1),

установленный по месту;

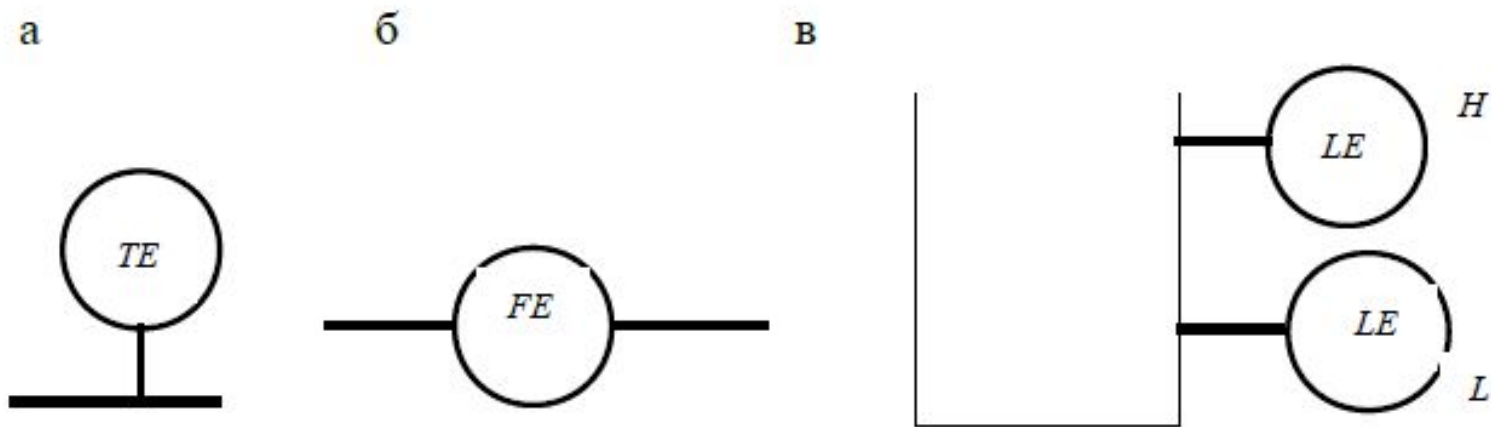
2 прибор для измерения расхода – бесшкальный, с дистанционной передачей, показывающий, установленный по месту (поз. 3-2),

3 прибор для измерения расхода – регистрирующий, регулирующий (поз. 3-3),

4 Исполнительный механизм имеет обозначение 3-4.



Приборы и средства автоматизации, встраиваемые в технологическое оборудование и трубопроводы или механизмы, связанные с ними, изображают на схеме в непосредственной близости к технологическому оборудованию.



Условные обозначения первичных преобразователей (датчиков):  
а – термопары на трубопроводе; б – первичного преобразователя расхода (в рассечке трубопровода); в – первичных преобразователей верхнего и нижнего уровней в емкости с продуктом

