

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Учреждение образования
«Витебский государственный технологический университет»

Технические средства автоматизации
Методическое пособие по пневмоавтоматике.

Витебск
2011

ВВЕДЕНИЕ	2
1. УНИВЕРСАЛЬНАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ ПРОМЫШЛЕННОЙ ПНЕВМОАВТОМАТИКИ	3
1.1. Пневматические сопротивления – дроссели	3
1.2. Пневмоемкости	5
1.3. Элементы сравнения	7
1.4. Пневмоповторители	9
1.5. Элементы дискретного действия	11
1.6. Органы управления	13
1.7. Преобразователи, коммутирующие органы и вспомогательные элементы	15
1.8. Некоторые схемы на элементах УСЭППА	17
1.9. Функциональные приборы	19
2. СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ НЭМП	23
3. ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ СТРУЙНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ	25
3.1. Схемы элементов струйной пневмоавтоматики	26
3.2. Комплекс струйных элементов "Волга"	27
3.3. Комплекс струйных модулей СМСТ-2	29

ВВЕДЕНИЕ

В послевоенные годы пневмоавтоматика находит все более широкое применение в системах автоматизации производственных процессов. Если до недавнего прошлого область ее применения ограничивалась главным образом системами автоматической стабилизации параметров технологических процессов, то в настоящее время средствами пневмоавтоматики реализуются любые законы управления технологическими процессами. Это оказалось возможным из-за проникновения в пневмоавтоматику ряда новых технических идей и, в частности, переход к элементному принципу, при котором любое новое пневматическое устройство создается не в форме специальной конструкции, а собирается из пневмоэлементов универсального назначения. Построенные на такой основе системы конструктивно просты, надежны в эксплуатации, по своей природе пожаро- и взрывобезопасны и уступают электронным лишь в отношении быстродействия. Однако для реализации почти всех вариантов управления технологическими процессами в легкой промышленности быстродействие, обеспечиваемое пневмоавтоматикой, оказывается достаточным.

Настоящее методическое указание содержит описание принципов действия и конструкций, основные расчетные соотношения элементов УСЭПА, НЭМП, СМСТ, а также схемы функциональных приборов.

Информация, содержащаяся в методических указаниях, может быть использована при теоретическом изучении курса "Технические средства автоматики", а также при курсовом и дипломном проектировании студентами специальности Т II.03.

1. УНИВЕРСАЛЬНАЯ СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ ПРОМЫШЛЕННОЙ ПНЕВМОАВТОМАТИКИ

Современные пневматические автоматические регуляторы различаются назначением собираются из унифицированных устройств – простейших элементов, серийно выпускаемых промышленностью и входящих в Универсальную систему элементов промышленной пневмоавтоматики (УСЭПП). В ее состав входят усилители, повторители, пневмореле, пневморезисторы, пневмоемкости, органы управления и другие элементы, выполняющие простейшие функции.

При построении пневматических регулирующих устройств из отдельных элементов УСЭППА образуют часто повторяющиеся сочетания, типовые узлы, реализующие определенные алгебраические или временные преобразования пневматических сигналов. Рассмотрим назначение, принцип действия, статические и динамические свойства основных типовых элементов пневматических регуляторов.

1.1. Пневматические сопротивления – дроссели

Пневмосопротивление (дроссель) представляет собой местное сопротивление прохождению воздуха в линиях связи между элементами пневмоавтоматики. Пневмосопротивления выполняют постоянными и переменными.

Постоянные (нерегулируемые) пневмосопротивления представляют собой капилляр длиной 7 или 20 мм (рис. 1.а) с калиброванным диаметром 0,18 или 0,3 мм. Переменные пневмосопротивления имеют конструкцию, дающую возможность изменять вручную проходное сечение пневмосопротивления. Наиболее часто конструктивно пневмосопротивления выполняются в виде рабочей пары типа "конус-конус" (рис. 1.б), "конус-шар" или "сопло-заслонка".

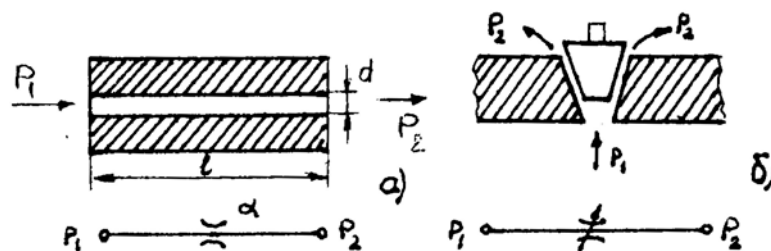


Рис. 1.

Течение воздуха по дросселю может быть ламинарным или турбулентным. Характер течения определяется числом Рейнольдса:

$$Re = \frac{Vr}{\nu},$$

где V - скорость течения, м/с; r - радиус канала дросселя, м; ν - кинематическая вязкость, с/м².

Для цилиндрического канала критическое значение числа Рейнольдса $Re = 2300$. Если параметры потока ниже критического значения, поток ламинарный, если выше – турбулентный. Зависимость расхода Q от перепада давлений P на дросселе при ламинарном режиме определяется формулой Пуазейля:

$$Q = \frac{\pi r^4 \rho}{8\mu l} P,$$

где r - радиус; ρ - плотность; μ - динамическая вязкость среды; l - длина канала дросселя.

Все эти величины при конкретных условиях истечения можно считать постоянными, поэтому формулу Пуазейля можно представить так:

$$Q = \alpha P,$$

где α - проводимость дросселя в ламинарном режиме.

В турбулентном режиме зависимость $Q=f(P)$ определяется формулой Бернулли:

$$Q = \pi r^2 \sqrt{\frac{2P}{\rho}} \quad \text{или} \quad Q = \sqrt{\beta P}; \quad Q^2 = \beta P$$

где β - проводимость дросселя в турбулентном режиме.

Таким образом, при $Re < 2300$, режим течения турбулентный и зависимость $Q=f(P)$ прямо пропорциональная; при $Re > 2300$ режим течения турбулентный и зависимость $Q=f(P)$ становится квадратичной. Графически эта зависимость показана на рис. 2. Для дросселей с диаметром капилляра 0,18 и 0,3 мм до перепада давления порядка 50 кПа оба дросселя имеют линейные характеристики, т. е. работают в ламинарном режиме, а при больших перепадах – переходят в турбулентный режим.

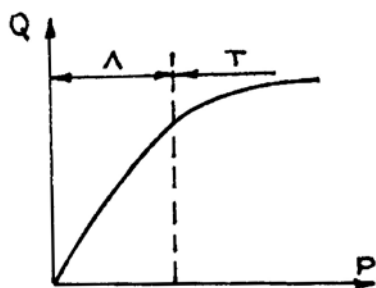


Рис. 2.

В переменных пневмосопротивлениях чаще всего используется пара "сопло-заслонка". Линейность характеристик и здесь обеспечивается малым перемещением заслонки относительно сопла и малым перепадом давлений на них.

Соединение дросселей обычно рассчитывают, используя линейные зависимости между расходом и перепадом давлений. Делитель давления представляет собой цепь из однотипных дросселей, соединенных последовательно (рис. 3.а).

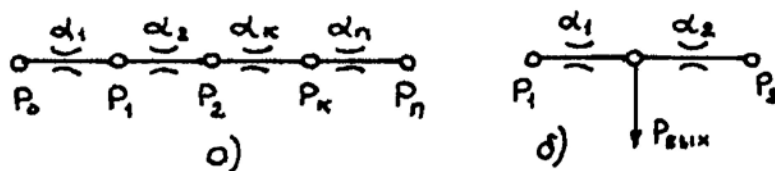


Рис. 3.

Для этой цепи можно записать:

$$P_n - P_0 = Q \sum_{i=1}^n R_i = Q \sum_{i=1}^n \frac{1}{\alpha_i};$$

$$P_k - P_0 = Q \sum_{i=1}^k R_k = Q \sum_{i=1}^k \frac{1}{\alpha_k}$$

Откуда

$$P_k - P_0 = (P_n - P_0) \frac{\sum_{i=1}^k \frac{1}{\alpha_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\alpha_i}}$$

Из этой общей формулы можно вывести имеющее важное практическое значение выражение для делителя давления, состоящего из двух последовательно включенных дросселей (рис. 3.б).

$$P_{\text{вых}} - P_1 = P_2 - P_1 \frac{\frac{1}{\alpha_1}}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2}} = (P_2 - P_1) \frac{\alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2};$$

$$P_{\text{вых}} - (P_2 - P_1) \frac{\alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2} + P_1 = \frac{P_2 \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2} + \frac{P_1 \alpha_1}{\alpha_1 + \alpha_2}.$$

Окончательно получим

$$P_{\text{вых}} = \frac{P_1 \alpha_1}{\alpha_1 + \alpha_2} + \frac{P_2 \alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2}.$$

1.2. Пневмоемкости

Пневмоемкость – элемент пневматического регулятора, представляющий собой замкнутый объем – емкость с двумя штуцерами для входа и выхода воздуха.

Постоянные пневмоемкости (рис. 4.а) выполняются в виде камеры цилиндрической формы со штуцерами. Переменные пневмоемкости (рис. 4.б) представляют

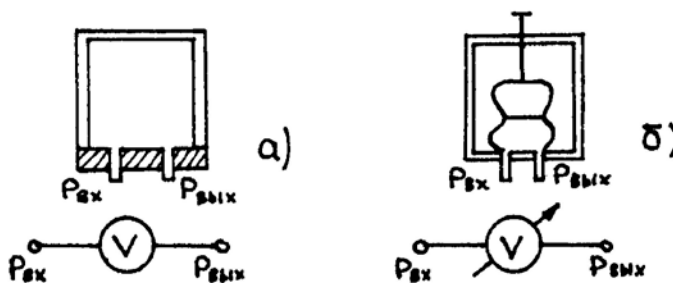


Рис.4.

собой сильфон, внутренний объем которого изменяется путем его деформации.

Определим изменение давления P в камере объемом V во времени при подаче на ее входы в начальный момент времени давления P_1 и P_2 (рис. 5). В камере масса воздуха $m = \frac{PV}{RT}$, где R – универсальная газовая постоянная, равная 2930 см/К; T – абсолютная температура, К. Продифференцируем это выражение по времени.

$$\frac{dm}{dt} = \frac{V}{RT} \frac{dP}{dt}.$$

Рис.5.

Величина $\frac{dm}{dt}$ – представляет собой изменение массы воздуха в камере, равное разности притока и оттока

$$\frac{dm}{dt} = Q_{np} - Q_{om} = \alpha_1(P_1 - P) - \alpha_2(P - P_2).$$

Отсюда

$$\frac{V}{RT} \frac{dP}{dt} = \alpha_1 P_1 + \alpha_2 P_2 - P(\alpha_1 + \alpha_2).$$

Поделим обе части последнего равенства на $\alpha_1 + \alpha_2$ и перенесем P в правую часть

$$\frac{V}{(\alpha_1 + \alpha_2)RT} \frac{dP}{dt} + P = \frac{\alpha_1 P_1}{\alpha_1 + \alpha_2} + \frac{\alpha_2 P_2}{\alpha_1 + \alpha_2} \quad \text{или}$$

$$T \frac{dP}{dt} + P = P_\infty,$$

где T – постоянная времени; P_∞ – установившееся давление.

Это уравнение экспоненты, график которой изображен на рис. 6.

Если $\alpha_2=0$ (камера глухая), то $P_\infty=P_1$, т. е. давление в камере устанавливается равным давлением на ее входе. Для глухой камеры, на вход которой подается скачок давления, передаточная функция может быть представлена в виде

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

Таким образом, пневмостат в динамическом отношении представляет собой апериодическое звено 1-го порядка. Если глухую камеру охватить единичной положительной обратной связью, как показано на рис. 7.а, то результирующая функция такой системы равна:

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

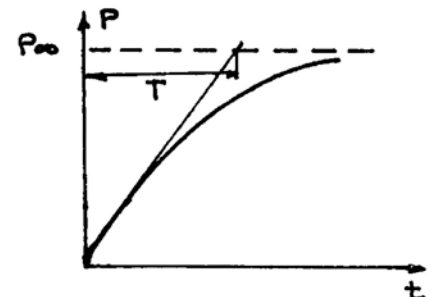


Рис. 6.

Эта схема реализует интегрирование входного давления.

При подаче на вход ступенчатой функции $P_{вх}$ выходное давление увеличива-

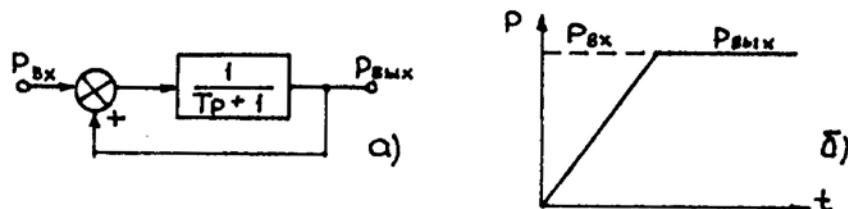


Рис. 7.

ется линейно и, достигнув $P_{вх}$, остается постоянным (рис. 7.б).

Схема, в которой выход глухой камеры вычитается из входного сигнала (рис. 8.а), имеет передаточную функцию

$$W_p(p) = 1 - W(p) = 1 - \frac{1}{Tp + 1} = \frac{Tp}{Tp + 1},$$

т. е. реализует операцию дифференцирования с постоянной времени T . График переходной характеристики показан на рис. 8.б).

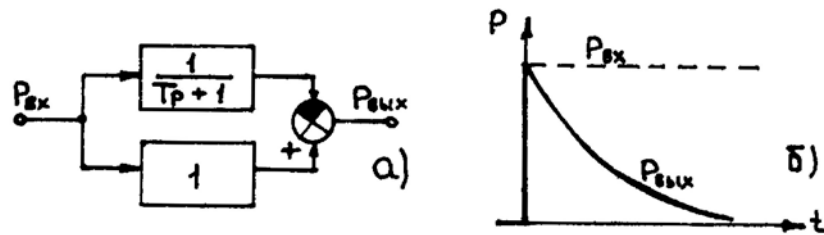


Рис.8.

Если апериодическое звено включить в линию отрицательной обратной связи, охватывающую усилитель с большим коэффициентом передачи $K \rightarrow \infty$ (рис. 9.а), то такая схема реализует операцию предварения

$$W(p) = \frac{W_1(p)}{1 + W_1(p)W_2(p)} = \frac{K}{1 + \frac{K}{Tp+1}} = \frac{K(Tp+1)}{Tp+1+K}$$

$$\lim_{K \rightarrow \infty} W_p(p) = Tp+1$$

Давление выходного сигнала мгновенно поднимается до максимального значения, практически до давления питания, а затем экспоненциально снижается до величины $P_{вх}$ (рис. 9.б).

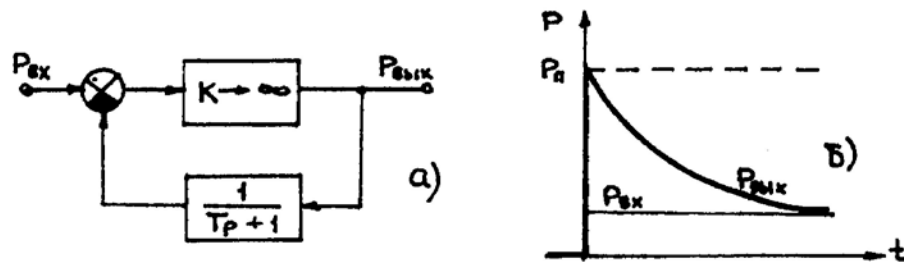


Рис.9.

1.3. Элементы сравнения

В состав элементов УСЭППА входят элементы сравнения, которые изготавливаются в 3-х модификациях: трехмембранные типов П2ЭС.1 и П2ЭС.2 и пятимембранные типа П2ЭС.3. Все типы элементов сравнения применяются в аналоговых схемах, в которых играют роль усилителей. Рассмотрим устройство трехмембранного элемента сравнения П2ЭС.1 (рис. 10). Элемент состоит из сборного корпуса 2 с двумя мембранами 3, 7 и 8. Мембраны соединены общим жестким центром 6. Корпус имеет два ввертываемых сопла C_1 и C_2 , которые, соответственно, в паре с торцами 5 и 9 жесткого центра 6 образуют два пневмосопротивления. Мембраны 3, 7 и 8 с корпусом образуют две проточные камеры А и Г и две глухие камеры Б и В.

Через штуцеры в камеры В и Б подводится воздух с давлением P_1 и P_2 . К соплу C_2 через канал 1 подводится давление питания P_n , а сопло C_1 через канал 4 сообщается с атмосферой. Камеры А и Г соединяются каналом, из которого отбирается давление

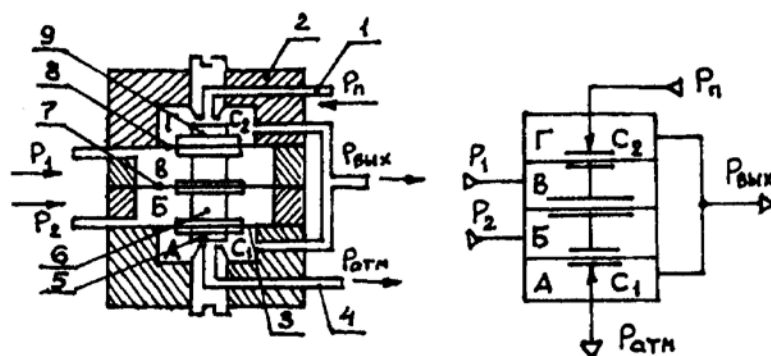


Рис.10.

выхода $P_{\text{вых}}$ элемента сравнения. Так как эффективная площадь мембраны 7 больше эффективной площади каждой из мембран 3 и 8, то при повышении давления P_1 в камере В жесткий центр опустится вниз. При этом увеличивается проводимость пневмосопротивления пары 1 – 9 и уменьшается проводимость пары 4 – 5; давление на выходе возрастает. При повышении давления P_2 в камере Б жесткий центр перемещается вверх, уменьшится проводимость пневмосопротивления пары 1 – 9 и увеличится пневмосопротивление пары 4 – 5; давление на выходе уменьшится. С учетом описанной работы элемента сравнения в установившихся состояниях между разностью входных давлений $P_1 - P_2$ и выходным давлением $P_{\text{вых}}$ в рабочем диапазоне перемещения жесткого центра 6 имеется зависимость

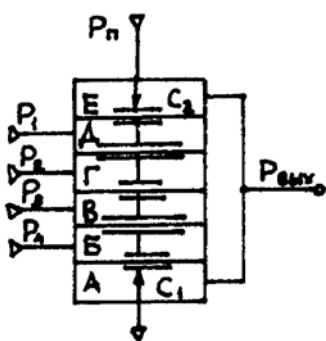


Рис.11.

$$P_{\text{вых}} = \text{sign}(P_1 - P_2) \begin{cases} P_{\text{вых}} = 0, \text{при } P_1 < P_2 \\ P_{\text{вых}} = 1, \text{при } P_1 > P_2 \end{cases},$$

т. е. выполняется операция сравнения двух сигналов "больше - меньше". На рис. 11 дана схема включения пятимембранного элемента сравнения типа П2ЭС.3 в режиме мембранного сумматора. Давление на выходе $P_{\text{вых}}$ в рабочем диапазоне перемещения жесткого центра определяется зависимостью

$$P_{\text{вых}} = \text{sign}[(P_1 + P_3) - (P_2 + P_4)] \begin{cases} P_{\text{вых}} = 0, \text{при } (P_1 + P_3) > (P_2 + P_4) \\ P_{\text{вых}} = 1, \text{при } (P_1 + P_3) < (P_2 + P_4) \end{cases}.$$

Уравнение статических характеристик элементов сравнения, работающих в режиме усиления, можно записать в следующем виде:

$$P_{\text{вых}} = K(P_1 - P_2) \quad \text{— для усилителя с двумя выходами;}$$

$$P_{\text{вых}} = K[(P_1 + P_3) - (P_2 + P_4)] \quad \text{— для усилителя с четырьмя входами.}$$

Гарантированная разность давлений, необходимая для перемещений мембранного блока из одного крайнего положения в другое, для П2ЭС.1 равна 0,5 кПа, для П2ЭС.3 – 1 кПа. Коэффициент усиления можно определить как отношение приращений давления на входе и выходе элемента сравнения

$$K = \frac{\Delta P_{\text{вых}}}{\Delta P_{\text{вх}}} = 50 \div 250$$

1.4. Пневмоповторители

Для реализации операции повторения сигнала промышленностью выпускаются специальные элементы – пневмоповторители, которые применяются в четырех вариантах: маломощный повторитель без сдвига и со сдвигом. Грубый и точный мощные повторители.

Маломощный повторитель без сдвига П2П.1 (рис. 12.а) имеет две камеры.

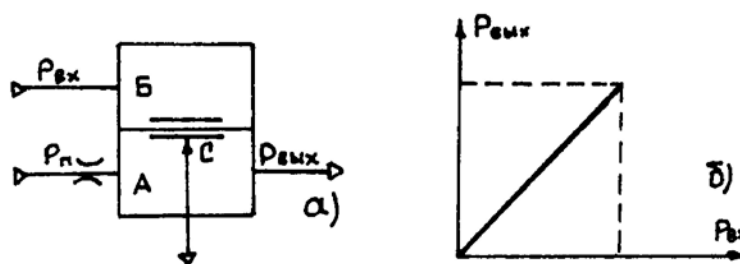


Рис.12.

Камеры разделены гибкой мембраной с жестким центром, который выполняет функцию "заслонки" для сопла С и через который камера А сообщается с атмосферой. В камеру Б подается входной сигнал $P_{\text{вх}}$. В камеру А через постоянный дроссель подается питание $P_{\text{п}}$. Пневмоповторитель работает по принципу компенсации сил на гибкой мембране. Например, при возрастании $P_{\text{вх}}$ мембрана прогибается вниз, прикрывает сопло С, уменьшая выход воздуха в атмосферу. В результате этого давление $P_{\text{вых}}$ в камере А возрастает до значения $P_{\text{вх}}$. Таким образом, пневмоповторитель всегда обеспечивает условие $P_{\text{вых}} = P_{\text{вх}}$ в соответствии со статической характеристикой, приведенной на рис. 12.б. Погрешность повторения пневмоповторителя П2П.1 определяется как разность значений давлений на входе и выходе: $P_{\text{вых}} - P_{\text{вх}} = \pm \Delta$, при $P_{\text{вх}} = 20, 60$ и 100 кПа. Относительная погрешность не должна превышать $\pm 0,25\%$. Пневмоповторитель на рис. 13.а типа П2П.2 отличается тем, что имеет дополнительно две пружины разной жесткости, одна из которых – регулируемая. В результате этого пневмоповторитель повторяет входной сигнал со сдвигом: $P_{\text{вых}} = P_{\text{вх}} \pm \Delta$, где $\pm \Delta$ - значение сдвига, определяемое разностью натяжений пружин. Значение сдвига может устанавливаться вручную оператором путем вращения винта натяжения верхней пружины. Если усилие верхней пружины больше, чем усилие нижней, то $P_{\text{вых}} = P_{\text{вх}} + \Delta$, а если усилие нижней больше усилия верхней, то $P_{\text{вых}} = P_{\text{вх}} - \Delta$. Статические характеристики повторителя показаны на рис. 13. б. Погрешность

повторения пневмоповторителя П2П.2 не должна превышать $\pm 0,5\%$. Диапазон сдви-

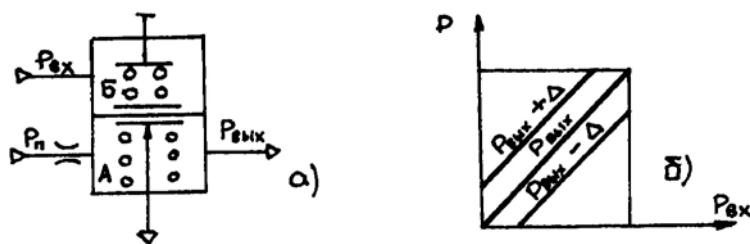


Рис.13.

га должен быть не менее ± 15 кПа.

Низкий уровень выходной мощности двух первых повторителей обусловлен тем, что выходное давление $P_{\text{вых}}$ забирается из междроссельной камеры пневматического усилителя "сопло-заслонка", имеющего постоянный дроссель с большим сопротивлением.

Грубый мощный повторитель П2П.3 обеспечивает формирование выходного сигнала, равного по давлению входному, но усиленного по мощности, т. е. данный тип повторителя выполняет дополнительную функцию усилителя. На рис. 14 представлена принципиальная схема повторителя.

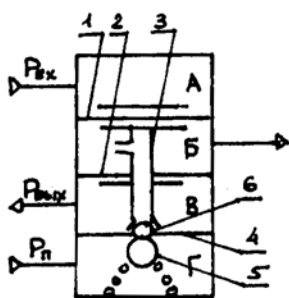


Рис.14.

Повторитель состоит из корпуса двух заблокированных гибких мембран 1 и 2 с жестким центром 3 и двух переменных сопротивлений. Повторитель имеет глухую камеру А и проточные камеры В, В и Г. Камеры В и Г разделяются жесткой перегородкой 4 с отверстием в центре, которое прикрывается большим шариком 5. Средняя часть жесткого центра выполнена в виде открытой только со стороны камеры В втулки и имеет отверстие для сообщения с камерой В. Открытая сторона втулки прикрывается маленьким шариком 6. Входной сигнал поступает в камеру А; камера В сообщается с атмосферой; мощный выходной сигнал $P_{\text{вых}}$ поступает из камеры В; в камеру Г подается давление питания. Воздух под давлением из камеры Г проходит в камеру В через нижнее переменное пневмосопротивление, образованное парой "отверстие 6 в перегородке 4-большой шарик 5" далее воздух из камеры В проходит в камеру Б через верхнее переменное пневмосопротивление, образованное парой "открытая часть втулки 7 жесткого центра 3-маленький шарик 6". Таким образом, камера В выполняет функции междроссельного канала, из которого отбирается выходной сигнал. В камере В устанавливается промежуточное давление $P_{\text{вых}}$ между $P_{\text{п}}$ и $P_{\text{атм}}$ в зависимости от соотношения проводимостей переменных пневмосопротивлений, что в свою очередь определяется значением $P_{\text{вх}}$.

Повторитель работает по принципу компенсации сил на мембранном блоке: усилие от давления $P_{\text{вх}}$ на мембране 1, направленное вниз и усилие от давления $P_{\text{вых}}$ на мембране 2, направленное вверх. При повышении давления $P_{\text{вх}}$ мембранный блок идет вниз, уменьшается проводимость верхнего пневмосопротивления, тем самым уменьшается доля воздуха питания, выход его в атмосферу, давление $P_{\text{вых}}$ возрастает, восстанавливая равновесие сил на мембранном блоке. При понижении давления $P_{\text{вх}}$ мембранный блок будет перемещаться вверх, проводимость верхнего пневмосо-

противления увеличивается, давление $P_{\text{вых}}$ будет, соответственно, уменьшаться. Таким образом, значение $P_{\text{вых}}$ непрерывно сравнивается и приводится в соответствие со значением $P_{\text{вх}}$.

На рис. 15 представлена принципиальная схема точного мощного повторителя-усилителя П2П.7 с тарельчатым переменным дросселем.

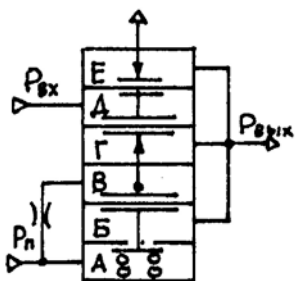


Рис. 15.

Воздух под давлением питания подается в камеру А и одновременно через постоянный дроссель — в камеру В повторителя. Входной сигнал поступает в камеру Д. Выходным сигналом служит разность давлений в камерах Б и Е. В камеру Г подается сигнал отрицательной обратной связи. Например, при увеличении $P_{\text{вх}}$ мембранный блок опускается вниз, давление в камере В возрастает и тарельчатый клапан открывается, в результате чего увеличивается его проводимость и, соответственно давление $P_{\text{вых}}$ на выходе повторителя-усилителя. Благодаря действию обратной связи при $P_{\text{вых}} = P_{\text{вх}}$, в повторителе-усилителе наступает равновесие сил на мембранах.

1.5. Элементы дискретного действия

Если пневматическая дискретная техника характеризуется тем, что входные и выходные давления принимают в процессе работы любые значения, то релейная техника отличается тем, что выходные сигналы могут принимать лишь два значения: 0 и 1, причем нулю соответствует давление 0 – 20 кПа, а 1 – давление 100 ± 10 кПа.

Основным элементом релейной техники является пневмореле типа П1Р.1, (рис. 16.а) схема которого не отличается от схемы элемента сравнения ПЭС.1. Однако их конструкции различны: пневмореле имеет большие габаритные размеры, так как чувствительность его не должна быть столь высокой, как у элемента сравнения. Упомянутые элементы отличаются друг от друга также и способом включения. Для введения положительной обратной связи в пневмореле нижнюю камеру соединяют с атмосферой, а верхнюю камеру с нижним соплом.

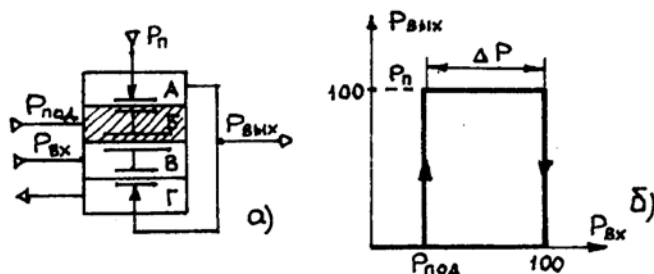


Рис. 16.

При срабатывании реле, когда мембранный блок перемещается вниз, давление в камере А увеличивается до 100 кПа и увеличивается усилие, действующее на мембранный блок вниз. Действие камеры А определяет ширину петли гистерезиса характеристики реле и составляет $0,14 \div 0,33 P_{\text{п}}$, т. е. $\sim 20 \div 40$ кПа.

Применяются две схемы включения и два вида статических характеристик пневмореле. По схеме, показанной на рис. 16.а в камеру Б подается малое давление подпора, равное $30 \div 40$ кПа. При отсутствии $P_{\text{вх}}$ мембранный блок под действием давления подпора перемещается вниз и $P_{\text{вых}} = 100$ кПа. Так как при этом в камере А также имеется давление, для срабатывания реле в камеру В требуется подать давление $P_{\text{вх}} = 60 \div 80$ кПа. При этом мембранный блок переместился вверх, давление в камере А и на выходе реле станет равным нулю. Для возврата реле необходимо, чтобы давление в камере В стало меньше давления подпора. Статическая характеристика реле, показанная на рис. 16.б, называется обратной.

На рис. 17.а изображена схема включения реле для получения прямой статической характеристики (рис. 17.б).

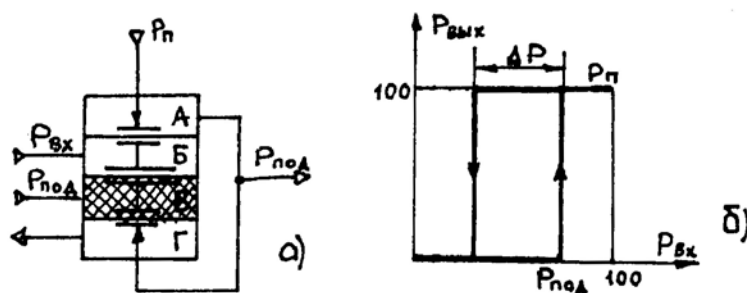


Рис.17.

В камеру В подают большее давление подпора, равное $70 \div 80$ кПа. Для срабатывания реле в камеру Б нужно подать давление $P_{\text{вх}} = 70 \div 80$ кПа, при этом камера А становится под давлением $P_{\text{вых}} = 100$ кПа, ее действие направлено навстречу действию давления подпора и для возврата реле давления в камере Б должно быть снижено до $P_{\text{вх}} = 30 \div 40$ кПа. Ширину зоны срабатывания ΔP для пневмореле делают равной $(0,3 \div 0,4) P_n$. При использовании пневмореле в релейных схемах оно будет участвовать в проработке лишь дискретных сигналов, принимающих два значения: одно из них представляется давлением питания, а другое атмосферным давлением. Подача дискретных сигналов в камеры Б и В приводит к неработоспособной схеме, так как при одинаковых значениях этих дискретных сигналов $\Delta P = 0$, а такому значению ΔP соответствует по статической характеристике неопределенное значение $P_{\text{вых}}$.

Пневматическое реле типа П1Р.3 (рис. 18) целесообразно использовать в тех случаях, когда состояние реле после подачи давления питания в систему должно

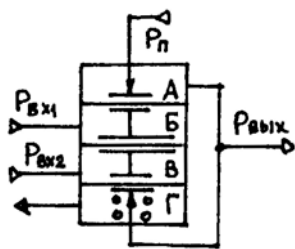


Рис.18.

быть определенным, если применение задатчиков для создания давления подпора нецелесообразно и если допустимо меньшее быстродействие элемента. Реле типа П1Р.3 отличается от П1Р.1 тем, что функцию подпора выполняет пружина, установленная в камере Г. Камеры Б и В можно использовать для соединения с источниками дискретных сигналов. При работе вышеуказанных реле следует учитывать следующее обстоятельство. Во время перехода мембранного блока из одного

крайнего положения, при котором полностью закрыто какое-нибудь одно сопло, в другое крайнее положение, при котором окажется закрытым противоположное сопло, мембранный блок в промежуточном положении оставляет открытым оба сопла.

В это время линия питания оказывается соединенной через два сопла с атмосферой и через нее расходуется воздух. По аналогии с электротехниками это явление можно назвать коротким замыканием. При достаточной емкости питающей магистрали это явление не мешает нормальной работе схемы. И все же иногда желательно полностью устранить это явление. В таких случаях применяют нестандартное реле РУП-1М (рис. 19). Реле содержит разновысокое сдвоенное сопло, управляемое одной заслонкой, поддерживаемой верхней пружиной так, что исключается одновременное открытие обоих сопел. Первоначальное состояние сопел фиксируется пружиной.

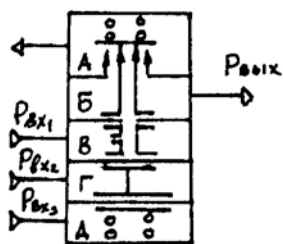


Рис.19.

Принципиальная схема включающего реле П-1108 представлена на рис. 20. Реле состоит из трех камер, раздвоенных гибкими мембранами. Жесткие центры этих мембран соединены жестким штоком. В глухую камеру А подается командный (управляющий) сигнал P_K , глухая камера В сообщается с атмосферой. В камере Б расположены сопла C_1 и C_2 , для которых торцы жесткий центров служат заслонками. К соплам C_1 и C_2 подводятся входные сигналы P_{BX1} и P_{BX2} . Давление в камере Б служит выходным сигналом. Включающее реле обеспечивает следующие режимы работы: а) при командном сигнале P_K , равном 0, пружина отжимает мембранный блок вниз, сопло C_1 открывается, сопло C_2 закрывается и сигнал на выходе $P_{ВЫХ} = P_{ВЫХ2}$; б) при $P_K = 0$ мембранный блок перемещается на выходе реле $P_{ВЫХ} = P_{ВЫХ1}$. Таким образом пневмореле обеспечивает переключение каналов связи пневмолиний. Реле может быть использовано и для управления одним входным сигналом. В этом случае вход одного из сопел заглушается. При этом реле может работать в следующих режимах:

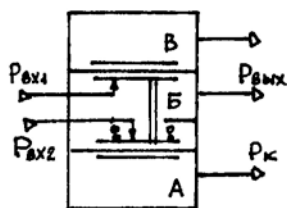


Рис.20.

при заглушенном C_1 :

$$P_{ВЫХ} = P_{ВХ} \text{ при } P_K > 0$$

$$P_{ВЫХ} = 0 \text{ при } P_K = 0$$

при заглушенном C_2 :

$$P_{ВЫХ} = P_{ВХ} \text{ при } P_K = 0$$

$$P_{ВЫХ} = 0 \text{ при } P_K > 0$$

1.6. Органы управления

Органами управления в УСЭППА являются формирователи сигналов (задатчики), а также пневмокнопки и пневмотумблеры.

Задатчики предназначены для установки местного задания в узлах и блоках средств пневмоавтоматики. Выходной сигнал имеет малую мощность и подается в глухие камеры пневматических элементов. Применяют маломощные задатчики трех типов: дроссельный, мембранный и шариковый. В качестве дроссельного задатчика используют регулируемое пневмосопротивление, один выход которого соединен с атмосферой, а другой – с линией питания через постоянное сопротивление (рис. 21.а).

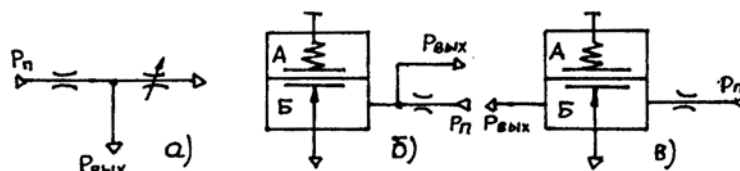


Рис.21.

Мембранные задатчики П23Д.3 и П23Д.3П (рис. 21.а,б) состоят из двух секций, разделенных плоской резиноктаневой мембраной и образующих камеры А и Б, пружины и установочного винта. Жесткий центр мембраны служит заслонкой сопла, имеющего выход в атмосферу, давление питания P_n подается через нерегулируемое пневмосопротивление П2Д.4, поступает в камеру Б задатчика. Изменение степени сжатия пружины установочным винтом регулирует сброс воздуха в атмосферу. Мембрана устанавливается в положение, при котором усилие, создаваемое выходным давлением $P_{вых}$, уравнивает усилие пружины. В шариковом задатчике вместо узла типа "сопло-заслонка" используется узел типа "сопло-шарик". Мощный задатчик типа П23Д.4 применяется для щитового монтажа в системах автоматизированного контроля и управления. Установка задания производится вручную. Принципиальная схема задатчика приведена на рис. 22. Задатчик состоит из четырех секций, трех плоских резиновых мембран 4, 6, 8, двух пар "сопло-заслонка" 5, 7, клапана 3, нерегулируемого сопротивления 2, двух цилиндрических пружин 10 и 12, одной конической пружины 13 и установочного винта 9. Секции совместно с мембранами образуют семь пневматических камер. Давление питания подается непосредственно в камеру Ж и через пневмосопротивление 2 – в камеры Б и Д. Выход элемента из камеры Е. Камеры Б и Д соединены между собой и являются емкостью заключенной между двумя пневмосопротивлениями. Давление в емкости управляет набором (из камеры Ж) и сбросом в атмосферу (из камеры Г) выходного давления. Выходная камера Е соединена с камерами отрицательной обратной связи А и В. При увеличении натяжения пружины 10 мембрана 8 прогибается в сторону камеры А и перекрывает сопло, давление в камерах Б и Д увеличивается, вследствие чего прекращается сброс в атмосферу через пару "сопло-заслонка" 5, мембрана 4 прогибается в сторону камеры Е, проходное сечение клапана 3 увеличивается и выходное давление возрастает. Обратный эффект наблюдается при уменьшении натяжения пружины.

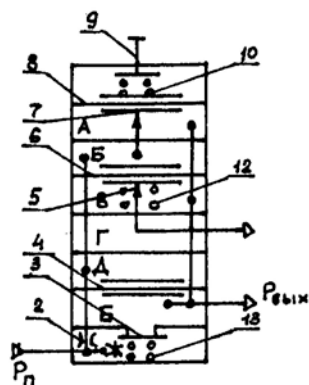


Рис.22.

Пневмокнопка П1КН.3, рис. 23.а, предназначена для кратковременной подачи пневматического сигнала в систему управления. Давление питания подается в нижнюю проточную камеру. При нажатии кнопки ее стержень открывает пневмоконтакт и обеспечивает сообщение канала питания с выходом. Когда кнопку отпускают, пневмоконтакт "сопло-заслонка" вновь закрывается и коммутирует поток воздуха между входом и выходом элемента. Давление на выходе падает до нуля, так как канал выхода соединяется через полый шток с атмосферой.

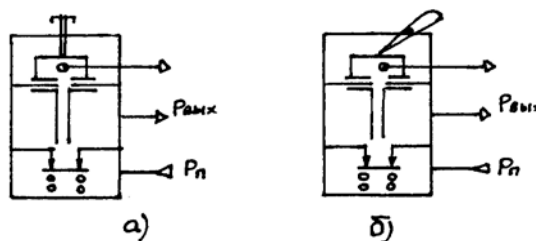


Рис.23.

Пневмотумблер П1Т.2, рис. 23.б, предназначен для ручной подачи командных сигналов в системах пневмоавтоматики. По своей конструкции аналогичен пневмокнопке П1КН.3 и отличается от последней тем, что вместо кнопки применен рычаг тумблера, имеющий два фиксированных положения.

1.7. Преобразователи, коммутирующие органы и вспомогательные элементы

Преобразователи, относящиеся к УСЭППА, предназначены для преобразования дискретных пневматических сигналов в электрическую форму (дискретный пневмоэлектрический преобразователь), дискретных электрических сигналов пневматическую форму (дискретный электропневматический преобразователь) и дискретных механических сигналов в пневматическую форму (конечный выключатель). В преобразователях ПЭ и ЭП электрической дискретной переменной является напряжение постоянного тока 24 В.

Принципиальная схема ПЭ преобразователя типа П1ПР.4 представлена на рис. 24.а.

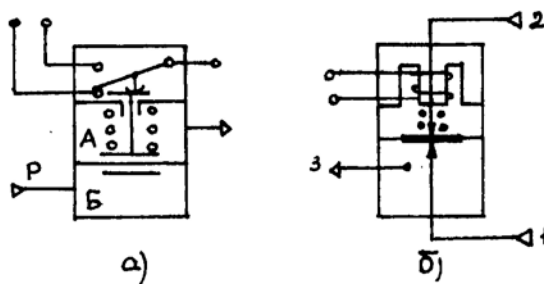


Рис.24.

Преобразователь состоит из двух секций, одной плоской резиноканевой мембраны, образующих две камеры – А и Б, пружины и переключателя. Камера А соединена с атмосферой. Под действием давления, подаваемого в камеру Б при единичном значении входного сигнала, мембрана прогибается и толкатель, воздействуя на шток микропереключателя и через плоскую пружину, замыкает нормально разомкнутый и размыкает нормально замкнутый контакты. При нулевом значении входного сигнала под действием пружины мембрана возвращается в исходное положение, и контакты микропереключателя изменяют, соответственно, свое состояние.

Электропневматический преобразователь П1ПР.5 (рис. 25.б) состоит из двух секций, электромагнита, пружины и двух сопл. Якорь электромагнита с двухсторонней заслонкой закреплен на плоской резиноканевой мембране и перемещается между соплами. Камера между соплами соединена каналом 3. При нулевом значении входного сигнала заслонка якоря под действием пружины закрывает сопло, соединенное с каналом 1. При этом коммутируемый сигнал по каналам 2, 3 поступает на выход. При одиночном значении выходного сигнала под действием напряжения на катушке электромагнита якоря притягивается, преодолевая усилие пружины, и заслонка закрывает сопло, соединенное с каналом 2. При этом коммутируемый сигнал по каналам 1, 3 поступает на выход. Принципиальная схема конечного выключателя

чателя П1ВК.1 отличается от схемы пневмокнопки П1КН.3 видом нажимного органа.

Коммутирующими органами в УСЭППА являются мембранные клапаны, предназначенные для замыкания и размыкания пневматических линий. Клапан одноконтakтный типа ПЗК.1 (рис. 25.а) состоит из трех секций, двух плоских резиноканевых мембран, связанных в мембранный блок, и сопла. Секции и мембраны об-

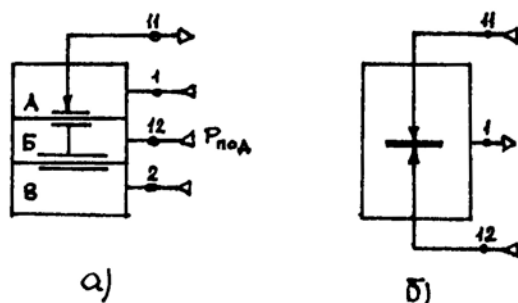


Рис.25.

разуют три камеры А, Б и В. Для нормально закрытого клапана давление подпора, равное 30 – 70 кПа подается через канал 2 в камеру В. Для нормально открытого клапана давление подпора, равное 60 ÷ 80 кПа подводится через канал 12 в камеру Б. Коммутируемый (аналоговый или дискретный) сигнал через каналы 1, 11 подводится в камеру А. Выходной сигнал отводится из камеры А через канал 11 или 1. Мембранный блок занимает одно из двух крайних положений в зависимости от дискретного сигнала разрешения, который подводится в камеру Б или В.

Клапан типа ПЗК.5 (рис. 25.б) предназначен для реализации логической функции ИЛИ двух переменных. Элемент состоит из двух сопел, между которыми расположен клапан, выполненный в виде круглой пластины. Входное давление подается в каналы 11 и 12, выходное давление отводится из канала 1. Если единичное значение имеет только один из входных сигналов, то клапан под действием этого давления закрывает сопло другого входа и наоборот. В том случае, когда единичное значение имеют оба входных сигнала, клапан находится в неопределенном положении, и с выходом коммутируется любая из двух входных коммутаций или обе сразу.

Вспомогательными элементами являются фильтры, вентили, индикаторы. Фильтр предназначен для местной очистки подаваемого в прибор давления питания. Он состоит из корпуса, в котором находится несколько смежных войлочных дисков, поджатых винтом.

Вентиль типа ПОВ.1 (рис. 26.а) предназначен для ручного замыкания мощной пневматической линии связи.

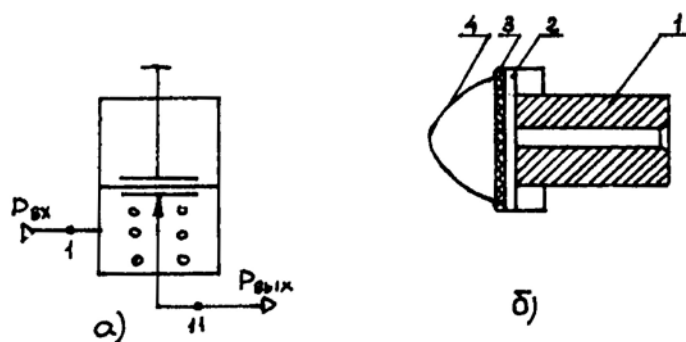


Рис.26.

Состоит из двух секций, плоской мембраны, которая служит заслонкой, сопла, пружины и винта. Входное давление подается по каналу 1, выходное давление отводится по каналу 11.

Индикатор пневматический (рис. 26.б) по своему функциональному назначению является аналогом электрической лампочки. Основными деталями индикатора является корпус 1, мембрана 2, шторка 3 и стекло 4. При поступлении давления эластичная мембрана растягивается и секторные участки шторки раздвигаются, ложась по окружности стекла. Окрашенная в разные цвета мембрана выкладывается по профилю стекла, что соответствует как бы загоранию лампочки. При снятии давления мембрана возвращается в исходное положение и шторки закрывают ее.

1.8. Некоторые схемы на элементах УСЭППА

Инерционное звено, собранное на элементах УСЭППА, показано на рис. 27.а. На входе пневмоповторителя установлена инерционная цепочка дроссель-емкость.

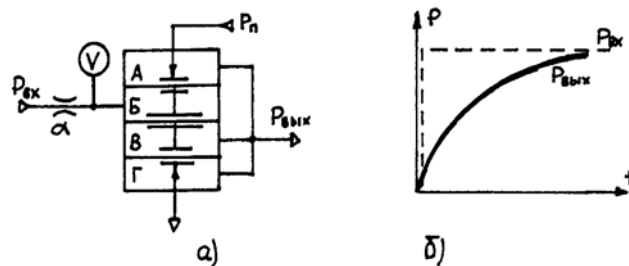


Рис.27.

Давление в глухой камере Б определяется

$$T \frac{dP_б}{dt} + P_б = P_{вх}$$

Учитывая условие равновесия мембранного блока $P_б = P_{вых}$, можно записать $P_{вых} = P_{вх} (1 - e^{-\frac{t}{T}})$, где $T = \frac{V}{\alpha RT^\circ}$. Кривые динамических характеристик изображены на рис. 27.б.

Интегрирующее звено (рис. 28.а) представляет собой инерционное звено, охваченное положительной обратной связью.

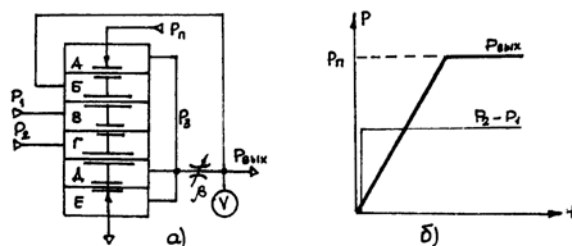


Рис.28.

Для инерционного звена, состоящего из дросселя β и емкости ν , можно записать

$$T \frac{dP_{\text{блх}}}{dt} + P_{\text{блх}} = P_3$$

Условие равновесия мембранного блока $P_{\text{вых}} - P_1 + P_2 - P_3 = 0$, отсюда

$$T = \frac{dP_{\text{блх}}}{dt} = P_3 - P_{\text{блх}} = P_2 - P_1$$

Проинтегрируем правую и левую части этого равенства:

$$P_{\text{блх}} = \frac{1}{T} \int_0^t (P_2 - P_1) dt$$

Динамические характеристики показаны на рис. 28.б. При подаче на вход звена ступенчатого импульса величина $P_{\text{вых}}$ увеличивается пропорционально времени до величины $P_{\text{п}}$.

Алгоритм функционирования звена предварения определяется зависимостью

$$P_{\text{блх}} = P_{\text{сх}} + T \frac{dP_{\text{сх}}}{dt}$$

Схема этого звена на элементах УСЭППА изображена на рис. 29. Поскольку давление в камере В не может увеличиться мгновенно из-за инерционной цепочки α и ν , при подаче на вход звена любого ступенчатого давления, мембранный блок перемещается вниз, и давление на выходе быстро возрастает до величины $P_{\text{п}}$.

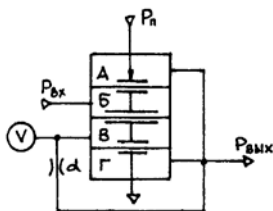


Рис.29.

Затем по мере увеличения компенсирующего давления в камере В выходное давление $P_{\text{вых}}$ уменьшается. Равновесие наступает, когда $P_{\text{вых}} = P_{\text{вх}}$. Это звено имеет склонность к автоколебаниям, поэтому его выполняют на пятимембранном элементе сравнения П2ЭС.3, две камеры которого вместе с дросселем α_d играют роль демфера (рис. 30.а).

Звено дифференцирования, если из $P_{\text{вых}}$ вычесть $P_{\text{вх}}$, можно получить из звена предварения. Эта операция выполняется еще на одном элементе сравнения П2ЭС.3, включенном по схеме (рис. 30.а). Условие равновесия мембранного блока элемента 2: $P_2 - P_{\text{вых}} + P_{\text{п}} - P_{\text{вх}} = 0$. Для элемента 1, представляющего собой звено предварения,

$$T = \frac{dP_{\text{сх}}}{dt} + P_{\text{сх}} = P_{\text{п}}$$

Окончательно:

$$P_{\text{блх}} = P_2 - P_{\text{сх}} + T \frac{dP_{\text{сх}}}{dt} + P_{\text{сх}} = T \frac{dP_{\text{сх}}}{dt} + P_2,$$

где P_2 - опорное давление. Графики динамических характеристик дифференцирующего звена изображены на рис. 30.б. Независимо от величины $P_{\text{вх}}$ в начальный момент времени $P_{\text{вых}}$ увеличивается до значения давления питания, а затем по экспоненте приближается к нулю или значению опорного давления.

На рис. 31 показана схема триггера с отдельными входами, собранного на реле П1Р.3 и клапане ПЗК.5. При отсутствии сигналов $P_{вх1}$ и $P_{вх2}$ пружина поднимает мембранный блок реле вверх и на выходе сигнал отсутствует. При подаче сигнала $P_{вх1}$ (100 кПа) мембранный блок переместится вниз и на выходе появится сигнал $P_{вых} = 100$ кПа, который через элемент ИЛИ поддерживает реле в сработавшем состоянии даже тогда, когда исчезнет сигнал $P_{вх1}$. Для возврата триггера в исходное положение необходимо подать сигнал $P_{вх2} = 100$ кПа.

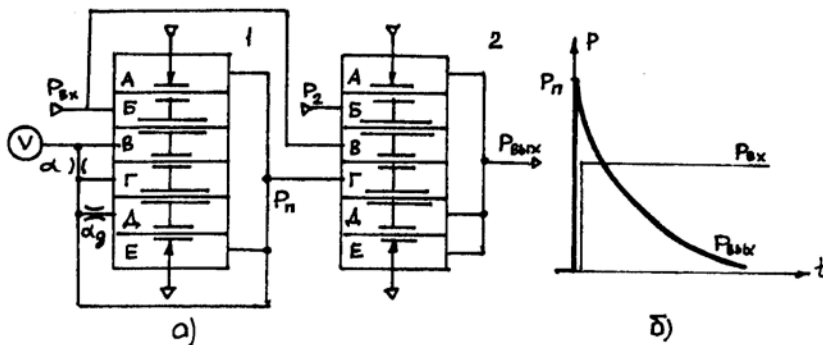


Рис.30.

Для возврата триггера в исходное положение необходимо подать сигнал $P_{вх2} = 100$ кПа.

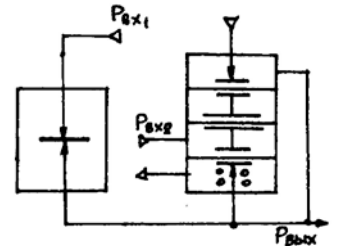


Рис.31.

1.9. Функциональные приборы

Приборы выполняют некоторые алгебраические, логические и временные операции над аналоговыми сигналами, необходимыми для целей управления технологическими процессами.

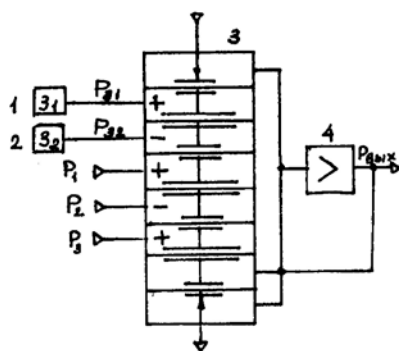


Рис.32.

Суммирующий прибор ПФ1.1 (рис. 32) состоит из семимембранного элемента 3, усилителя мощности 4 (типа П2П.3) и двух задатчиков 31 и 32, выполненных на элементах П23Д.3, работающих в комплекте с постоянными дросселями П1127. Элемент сравнения вместе с усилителем мощности охвачен общей отрицательной обратной связью. Таким образом, компенсируется погрешность грубого повторителя П2П.3. Учитывая, что эффективные площади всех мембран с большим жестким центром элемента сравнения в 2 раза больше эффективных площадей с малым жестким центром, уравнение равновесия сил может быть представлено в виде:

сигналов сил может быть представлено в виде:

$$P_{31} - P_{32} + P_1 - P_2 + P_3 - P_{вых} = 0, \text{ или } P_{вых} = P_1 - P_2 + P_3 + P_{31} - P_{32}.$$

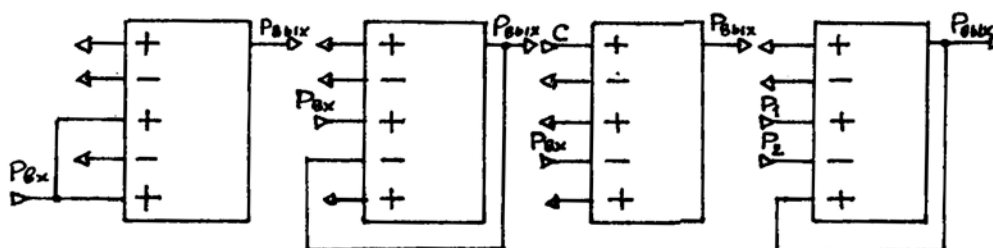


Рис.33.

$$P_{вых} = 2P_{вх} \quad P_{вых} = \frac{P_{вх}}{2} \quad P_{вых} = C - P_{вх} \quad P_{вых} = \begin{cases} 1, \text{ при } P_1 > P_2 \\ 0, \text{ при } P_1 < P_2 \end{cases}$$

Соединяя между собой и с атмосферой некоторые камеры можно с помощью суммирующего прибора ПФ1.1 выполнять операции не только суммирования, но и умножения и деления на два, инвертирования и релейного действия (рис. 33).

Прибор ограничения сигнала по максимуму или минимуму ППП.1 (рис. 34) состоит из трехмембранного элемента сравнения 2 типа П2ЭС.1, в камеры которого подаются входное давление P_1 и давление P_2 от задатчика 1. Элемент сравнения не имеет обратной связи, следовательно, режим работы его близок к релейному: при превышении одного из давлений, например, P_1 над P_2 , на выходе элемента сравнения появится давление порядка 100 кПа, которое попадает в верхнюю камеру реле переключения 5 типа ПР.5. Реле срабатывает и в зависимости от положения переключателя 3 пропускает на усилитель мощности, состоящий из элементов 4 и 6, давление P_1 или P_2 . Если в приборе ППП.1 использован грубый мощный повторитель 6 типа П2П.3, для компенсации его погрешности используется элемент сравнения 4 и оба элемента охватываются общей отрицательной обратной связью. В приборах ППП.1 новых выпусков в качестве усилителя мощности применяется точный мощный повторитель типа П2П.7, и надобность в элементе сравнения отпадает.

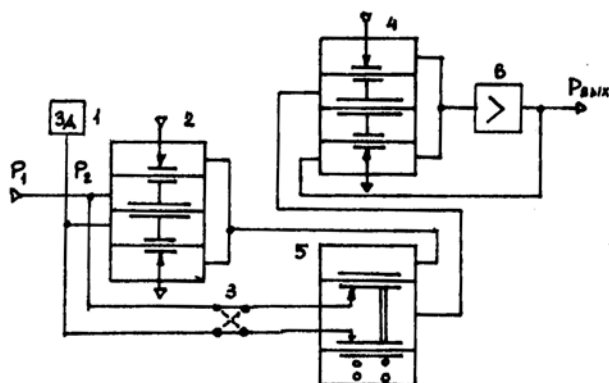


Рис.34.

Прибор селектирования большего или меньшего сигнала типа ПФ4/5.1 работает аналогично прибору ППП.1. Его схема отличается от схемы прибора ППП.1 отсутствием задатчика I: оба входных сигнала P_1 и P_2 параллельно подаются на вход элемента сравнения 2 и через переключатель 3 на вход реле переключения 5. Они могут произвольно изменяться во времени. Значения давлений входных сигналов сравниваются на элементе сравнения, дискретное значение давления на выходе которого управляет положением реле переключения. В зависи-

мости от положения реле переключения, на усилитель мощности и на выход прибора поступают значения меньшего сигнала $P_{вых1}$ или большего $P_{вых2}$.

Прибор для умножения на постоянный коэффициент ПФ1.3 (рис. 35) состоит из двух дросселей α_1 и α_2 пятимембранного элемента сравнения типа П2ЭС.3, схваченного вместе с усилителем мощности П2П.3 общей отрицательной обратной связью.

Камеры В и Д элемента сравнения подключены таким образом, что их влияние компенсирует погрешности грубого повторителя—усилителя мощности и устраняет колебания мембранного блока. В устано-

вившемся режиме можно считать влияние этих камер равным нулю. Тогда условие равновесия мембранного блока элемента сравнения можно записать в виде $P_B = P_D$. Для схемы, изображенной на рис. 35.а:

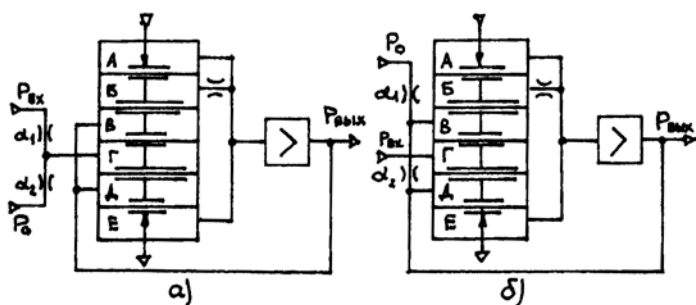


Рис.35.

$$P_g = P_{вых}, \quad P_e = P_{вх} \frac{\alpha_1}{\alpha_1 + \alpha_2} + P_0 \frac{\alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2}.$$

Приняв $\frac{\alpha_1}{\alpha_1 + \alpha_2} = K$ и $\frac{\alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2} = 1 - K$, можно записать

$$P_{\text{вых}} = KP_{\text{вх}} + (1 - K)P_0.$$

Для этой схемы $K \leq 1$.

Для схемы, изображенной на рис. 35.б:

$$P_{\text{с}} = P_{\text{вх}}, \quad P_{\text{с}} = P_0 \frac{\alpha_1}{\alpha_1 + \alpha_2} + P_{\text{вых}} \frac{\alpha_2}{\alpha_1 + \alpha_2}.$$

Преобразовав эти выражения, можно получить:

$$P_{\text{вых}} = P_{\text{вх}} \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{\alpha_2} + P_0 \frac{\alpha_1}{\alpha_2} = KP_{\text{вх}} + K_1 P_0$$

Для этой схемы $K \geq 1$.

Устройство для извлечения квадратного корня типа ПФ1.17 (рис. 36) реализует функцию $P_{\text{вых}} = \sqrt{8(P - 20)} + 20$ с помощью аппроксимации параболы трех прямыми:

$$P_{\text{вых}} = K_2(P_{\text{вх1}} - 45) + 45; P_{\text{вых}} = K_1(P_{\text{вх}} - 20) + 20; P_{\text{вых}} = K_3(P_{\text{вх2}} - 65) + 65.$$

Каждый из отрезков выполняется на повторителе со сдвигом. Давления $P_{\text{вх}}$, $P_{\text{вх1}}$, $P_{\text{вх2}}$ задаются с помощью делителей, на один вход подано опорное давление P_0 , а на другой – давление $P_{\text{вх}}$. Схема устройства состоит из двух делителей 1–2 и 3–4, трех повторителей со сдвигом 5, 6 и 7 усилителя мощности на элементах 8, 9. В кол-

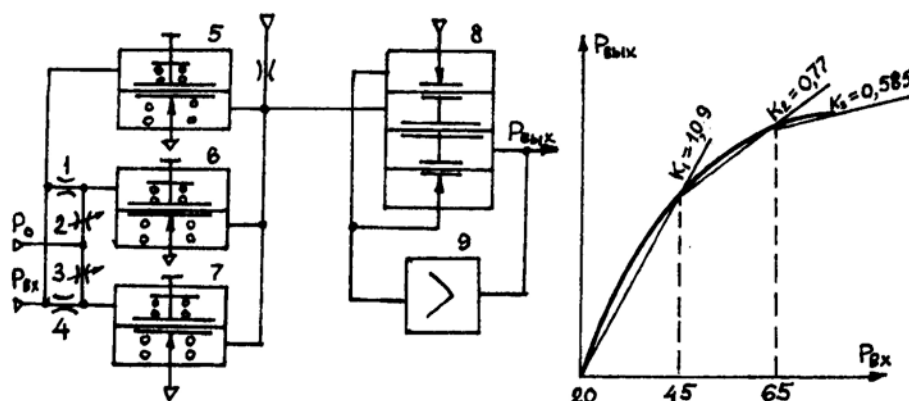


Рис.36.

лекторе, к которому подключены выходные штуцера повторителей, всегда устанавливается давление, равное меньшему и $P_{\text{вых}}$, поэтому аппроксимирующая кривая с точностью до 1% приобретает форму, показанную на рис. 36. Устройство прямого

предварения типа ПФ2.1 (рис. 37) используется для введения в цепь регулирования воздействия по скорости отклонения от заданного значения и реализует операцию вида: $P_{\text{вых}} = P_{\text{вх}} + T_n \frac{dP_{\text{вх}}}{dt}$.

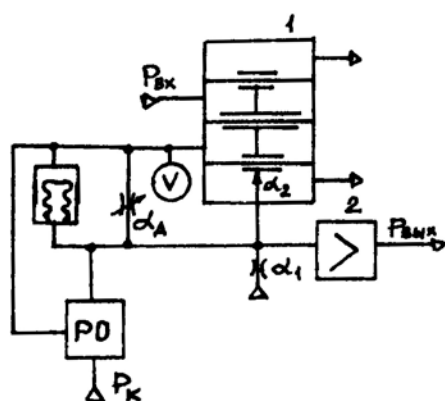


Рис.37.

Схема состоит из элемента сравнения 1 типа П2ЭС.1, емкости V , дросселя α_d . Работа этого узла аналогична работе звена предварения. Выходное давление элемента 1 образуется на делителе, состоящем из постоянного делителя α_1 и переменного – α_2 . Усилитель мощности 2 типа П2П.7 не имеет обратной свя-

зи с элементом сравнения. Для гашения высокочастотных колебаний применен сильфонный дифференциатор. При резком измерении давления выхода элемента сравнения также резко изменяется и производная по времени этого давления подается в камеру отрицательной обратной связи, элемента сравнения. Реле отключения шунтирует дроссель α_d и сильфонный дифференциатор: при подаче P_k устройство ПФ2.1 будет работать как повторитель–усилитель мощности.

Устройство обратного предварения ПФ3.1 предназначено для замедления воздействия регулятора на объект при резких изменениях регулируемой переменной этого объекта. В сущности устройство обратного предварения представляет собой инерционное звено; его основная часть состоит из трехмембранного элемента сравнения, во входную цепь которого включена инерционная цепочка. Кроме того, в схему устройства ПФ3.1 входят усилитель мощности и отключающее реле.

2. СИСТЕМА ЭЛЕМЕНТОВ НЭМП

Современные серийные элементы УСЭППА не полностью отвечают требованиям, предъявляемым к ним в сложных системах. Опыт широкого использования этих систем показал, что наиболее серьезные недостатки таковы:

- сравнительно быстро выходят из класса точности (среднее время наработки на отказ ≈ 1000 часов);
- плохо выдерживают перегрузки (разрушаются мембраны, нарушается герметичность);
- имеют выходную стоимость.

Усовершенствование существующих элементов не позволяет полностью устранить эти недостатки, что связано с некоторыми принципиальными и конструктивными решениями. Дороговизна и громоздкость выпускаемых пневмоэлементов не позволяет использовать различные схемные усложнения с целью улучшения характеристик устройств. Поэтому наиболее перспективным путем развития пневмоавтоматики является разработка новой системы элементов, удовлетворяющей следующим требованиям: надежность, точность, быстродействие, небольшая стоимость. Первым шагом в этом направлении была разработка набора элементов и модулей пневмоавтоматики НЭМП–30. Этот набор элементов и модулей характеризуется ограниченной номенклатурой: одномоembrанный элемент с фиксированным сдвигом, задатчик, дроссель постоянный ламинарный, дроссель постоянный турбулентный, дроссель переменный, пневмоемкость. Питание элементов осуществляется сжатым воздухом с давлением 140 кПа.

Одномоembrанный элемент (рис. 38) содержит две разделенных мембраной камеры: глухую 2 и проточную 3, в которой расположено сопло 4. В одну из камер может быть помещена пружина 5. В работе мембрана 1 в зависимости от перепада давления на ней открывает или закрывает сопло 4. В основание элемента могут быть установлены пружины (могут быть и не установлены), обеспечивающие различные значения давления срабатывания элемента, которые входят в индексацию элемента. Например СК-0.08 обозначает, что сопло элемента расположено в крышке, а пружина соответствует давлению срабатывания 8 кПа; СО-0.32 – сопло элемента расположено в основании, давление срабатывания пружины 32 кПа. Существенными отличительными особенностями одномоembrанных элементов является простота их конструкции и изготовления, а также приспособленность к миниатюризации. Кроме того, одномоembrанные элементы обладают в схемах высоким коэффициентом усиления и надежностью (мембрана работает при малых перепадах давления, а при больших ложится на дно). Ресурс работы одномоembrанного элемента составляет несколько миллионов циклов, в то время как аналогичный элемент УСЭППА – 50000 циклов.

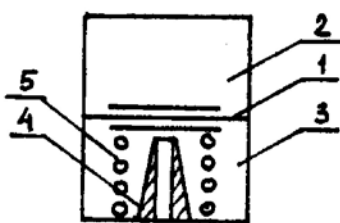


Рис.38.

мминиатюризации. Кроме того, одномоembrанные элементы обладают в схемах высоким коэффициентом усиления и надежностью (мембрана работает при малых перепадах давления, а при больших ложится на дно). Ресурс работы одномоembrанного элемента составляет несколько миллионов циклов, в то время как аналогичный элемент УСЭППА – 50000 циклов.

Одномембранные элементы позволяют сравнительно просто осуществить модульный принцип построения систем автоматики, что значительно облегчает общий монтаж схемы, проверку отдельных узлов, а также процесс восстановления работоспособности схемы. Используя модули и постоянные турбулентные дроссели, можно достаточно просто реализовать элементарные логические функции. На рис. 39 показаны примеры схем основных из них.

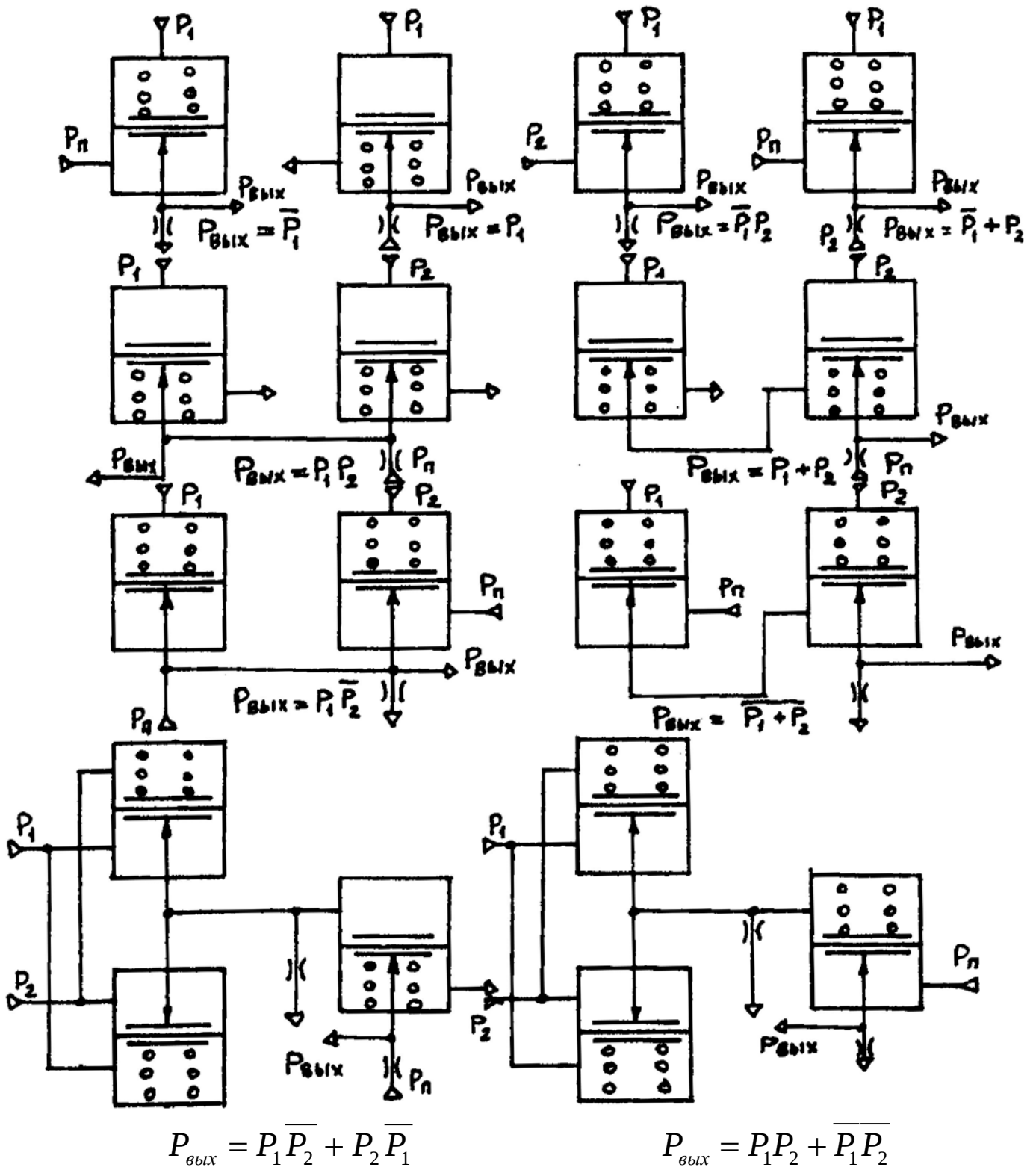


Рис.39.

3. ПНЕВМАТИЧЕСКИЕ СТРУЙНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

В основу работы струйных элементов положены три аэродинамических явления: соударение струй, эффект Коанда и турбулизация ламинарного потока в результате воздействия внешних возмущений.

Соударение струй – столкновение двух струй, направленных под углом друг к другу, которое приводит к образованию результирующей струи, не совпадающей по направлению с направлением соударяющихся струй. Направление результирующей струи определяется геометрической суммой количеств движения соударяющихся струй.

Эффект Коанда – свойство струи изменять направление течения из-за прилипания к расположенной вблизи твердой стенки. Эффект заключается в следующем. Свободная струя, вытекая из сопла (рис. 40.а), увлекает за собой частицы окружающей среды. Это приводит к образованию вторичного течения на периферии струи,

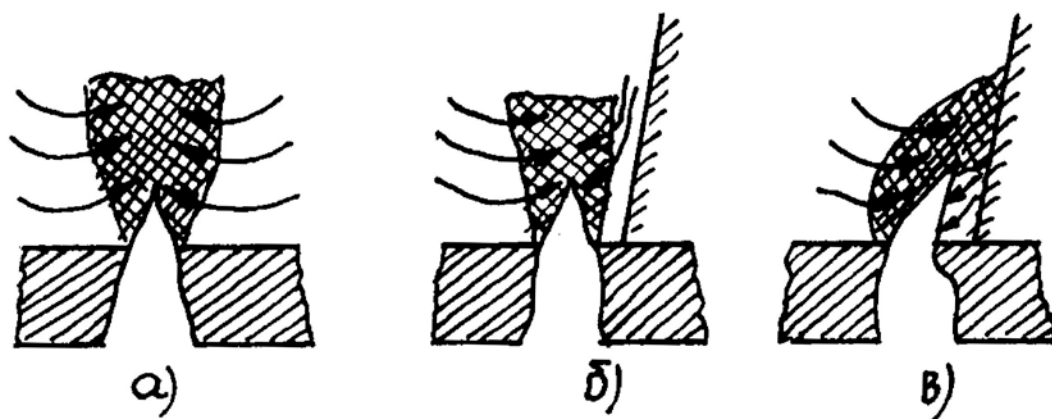


Рис.40.

которое дополнительно поддерживает захваченные частицы. Если вблизи струи отсутствуют стенки, то давление во всей области течения струи остается постоянным и струя не меняет направление течения. Если вблизи струи поместить твердую стенку (рис. 40.б), то поперечное сечение вторичного течения уменьшается со стороны твердой стенки. Происходит увеличение скорости потока и уменьшение статического давления вблизи стенки. Указанное приводит к отклонению струи к стенке под действием внешнего атмосферного давления до тех пор, пока струя не коснется стенки и не наступит равновесное состояние (рис. 40.в). В объеме, заключенном между краем струи и стенкой, образуется циркуляционная область с высокой скоростью вторичного течения и низким давлением. Если в область низкого давления ввести через дополнительный канал управляющий сигнал, эта область начинает увеличиваться, зона прилипания струи к стенке сместится по течению струи, удаляясь от дополнительного канала. Когда расход управления станет равным расходу переключения, произойдет отрыв струи от стенки, что обусловит изменение направления ее течения.

Турбулизация ламинарной струи. Если по относительно длинному гладкому каналу, являющемуся соплом, подается поток, то струя, вытекающая из сопла, является ламинарной. На некотором расстоянии от среза сопла происходит переход ламинарного течения в турбулентное. Длина ламинарной части струи может уменьшаться под действием внешних возмущений. Турбулентное течение свободной

струи характеризуется гораздо большей шириной струи, чем ламинарное. Это приводит к уменьшению осевой скорости турбулентной струи. Если на оси ламинарной струи расположить приемную трубку, то при отсутствии внешнего воздействия свободная струя достигнет ее, сохранив ламинарный характер, и в приемной трубке сформируется некоторое давление. При подаче управляющего сигнала происходит турбулизация струи, и давление в приемной трубке резко падает.

Струйная пневмоавтоматика – новое и весьма перспективное направление развития пневмоавтоматики, имеющее следующие отличительные особенности:

- отсутствие подвижных элементов и как следствие – весьма высокая надежность и долговечность работы;
- большое быстродействие;
- низкие давления питания – порядка 1 кПа и как следствие – отсутствие влаговыделений и замерзания;
- малая потребляемая мощность;
- простота изготовления, технологичность и невысокая стоимость изготовления и монтажа элементов;
- малые габаритные размеры;
- возможность работы в экстремальных условиях.

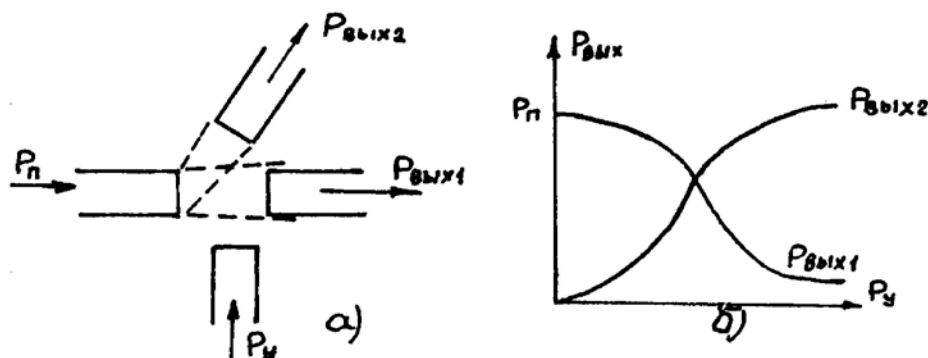


Рис.41.

3.1. Схемы элементов струйной пневмоавтоматики

Схема однокаскадного усилителя, основанного на отклонении ламинарной струи, изображена на рис. 41.а.

Давление питания P_n подведено к питающему соплу, из которого выходит ламинарная струя и, поступая в приемное сопло, вызывает в нем давление $P_{вых1} \cong 0,8 P_n$. Если в сопло управления подать давление P_y , основная струя будет им отклоняться и при $P_y \cong 0,2 P_n$ давление $P_{вых1}$ упадет до нуля, а $P_{вых2}$ возрастет до $0,8 P_n$. Статическая характеристика усилителя показана на рис. 41.б.

Очевидно, что коэффициент усиления струйного усилителя $K_y = \frac{P_{вых}}{P_y} = 4$ не высок.

Для повышения коэффициента усиления применяют многокаскадные или струйные усилители, использующие давление соударения (рис. 42) и турбулизации струи.

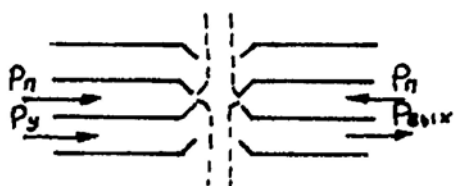


Рис.42.

Две струи давлением P_n от источника питания направляются встречно и, соударяясь, рассеиваются в межсопловом пространстве. Если в одно из внешних концентрически расположенных сопел подать давление управления P_y , зона соударения сместится вправо и в приемном сопле появится давление $P_{вых}$. Два уси-

лителя этого типа, соединенных в каскад, могут дать коэффициент усиления по давлению $K = 8000$.

В струйных реле (рис. 42) обычно используется эффект Коанда, если струю направить вдоль стенки, она попадает в приемное сопло $P_{\text{вых}}$. Для отрыва струи от стенки необходимо подать давление в сопло управления P_y . Отрыв струи от стенки и ее "прилипание" происходит скачкообразно при различных значениях P_y , то есть реле имеет гистерезис. На рис. 44 изображена схема дискретного элемента сигналов. Первоначально при включении элемента, то есть при подаче питания P_n давление появится в сопле $P_{\text{вых1}}$. Для обрыва струи от стенки нужно подать давление P_{y2} . Давление появится в $P_{\text{вых2}}$ и в дальнейшем струя будет поддерживаться в "отлипшем" состоянии за счет действия обратной связи при исчезновении сигнала P_{y2} . Переброс сигнала в $P_{\text{вых}}$, произойдет только при подаче управляющего сигнала P_{y1} .

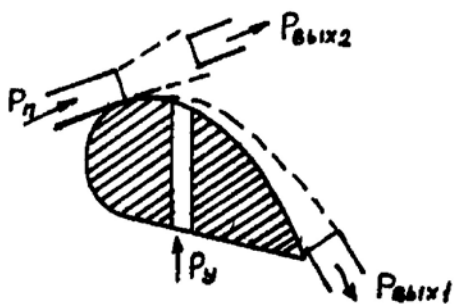


Рис.43.

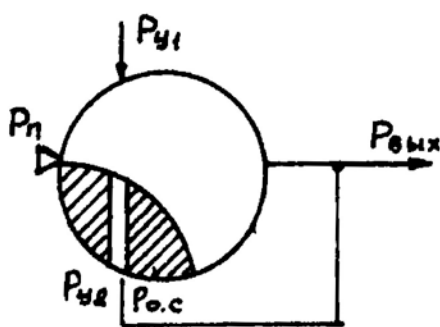


Рис.44.

Схема двоичного дискретного элемента с двумя устойчивыми положениями показана на рис. 45.а. При подаче давления P_n вся струя за счет прилипания к стенке втянется в один из выходных каналов. Для переброса ее в другой канал требуется подать кратковременный импульс P_{y1} или P_{y2} .

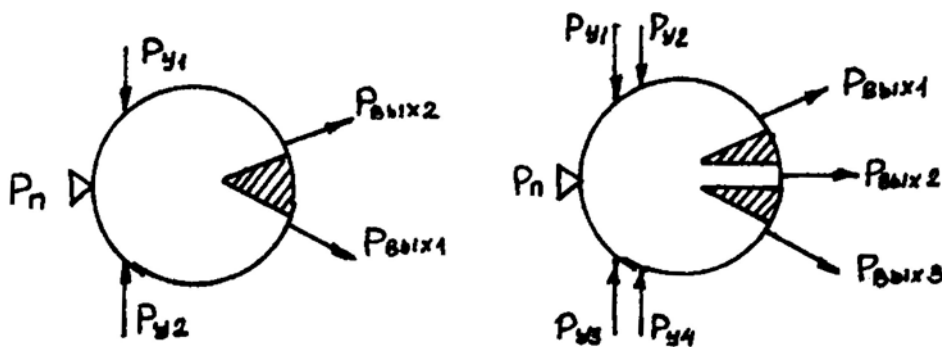


Рис.45.

На рис. 45.б изображена схема дискретного элемента с тремя устойчивыми положениями, на котором можно реализовать ряд простейших логических операций: равнозначность, неравнозначность, импликация, запрет.

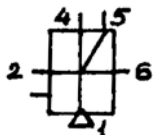
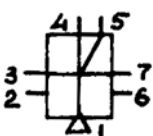
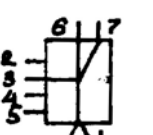
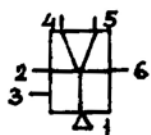
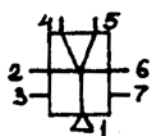
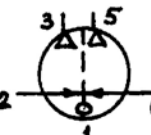
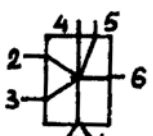
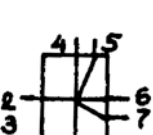
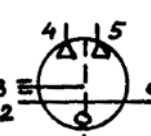
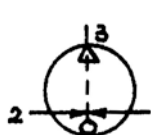
3.2. Комплекс струйных элементов "Волга"

Комплекс струйных элементов "Волга" состоит из функциональных, периферийных и вспомогательных элементов. Струйный функциональный элемент представляет собой единое соединение двух плат – рабочей и крышки. На рабочей наносится профиль струйного элемента. Монтаж элементов осуществляется способом

штекерного разъема. Рабочий процесс элементов основан на сочетании эффекта Коради и взаимодействия струй (табл. 3.1).

К периферийным и вспомогательным элементам относятся конечные выключатели, датчики, аппаратура ручного управления, устройства индикации.

Таблица 3.1

Тип	Условное обозначение	Функция	Тип	Условное обозначение	Функция
	  			  	
	 			 	

3.3. Комплекс струйных модулей СМСТ-2

Комплекс струйных модулей логических операций, арифметических операций, запоминающих устройств, вспомогательных устройств. Комплекс модулей работоспособен при давлении питания $20 \div 100$ кПа. Модули построены с применением пассивных и активных элементов, действие которых определяется двумя явлениями – соударением двух и более струй и эффектом Коанда. При построении пассивных элементов используется эффект струй, а при построении активных – эффект Коанда. В таблице 3.2 приведены схемы элементов, их условные обозначения и реализуемые ими функции.

Таблица 3.2.

Наименование		Условное обозначение	Функция
Пассивные			$Z = x_1 + x_2$
			$Z = x_1 \cdot x_2$
			$Z_1 = \overline{x_2 x_1}$ $Z_2 = x_2 x_1$ $Z_3 = \overline{x_2 x_1}$
Активные			$Z = \overline{x}$
			$S: x_1 = z_2$ $R: x_2 = z_1$
			$S: x_1 + x_2 = z_2$ $R: x_3 + x_4 = z_1$
			$Z_1 = \overline{x}$ $Z_2 = x$

ЛИТЕРАТУРА

1. А.С. Ключев. Наладка средств автоматизации и автоматических систем регулирования. Справочное пособие, Изд-е 2-е. -М.: Энергоатомиздат, 1989.
2. А.С. Ключев. Наладка автоматических систем и устройств управления технологическими процессами. Справочное пособие. - М.: Энергия, 1977.
3. Т.К. Берендес, Т.К. Ефремова, А.А. Тагаевская. Элементы и схемы пневмоавтоматики. Учебное пособие. - М.: Машиностроение, 1976.
4. В.Н. Дмитриев, В.Г. Градецкий. Основы пневмоавтоматики. - М.: Машиностроение, 1973.
5. В.И. Погорелов. Элементы и системы пневмоавтоматики. Изд. Ленинградского университета, 1979.
6. Справочник по средствам автоматики /Под ред. В.Э. Низэ и И.В. Антика. - М.: Энергоатомиздат, 1989.
7. В.А. Дубровный. Элементы пневмоавтоматики. Учебное пособие. - Киев: КТИЛП, 1986.
8. Приборы и средства автоматизации. Отраслевой каталог. -М.: 1986, 1991.