Лекция - 10

1 ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ СИГНАЛОВ В МЕХАТРОНИКЕ

В пневматической ветви ГСП используется унифицированный сигнал – давление сжатого воздуха в диапазоне от $0{,}2 \cdot 10^5$ до $1{,}0 \cdot 10^5$ Па. Это позволяет соединять различные приборы и регуляторы без дополнительного согласования их входных и выходных сигналов.

Промежуточные преобразователи предназначены для преобразования механических выходных сигналов датчиков (силы, перемещения) в унифицированные промежуточные сигналы. Кроме этого, они осуществляют преобразования неунифицированных электрических сигналов датчиков (электрическое сопротивление, э.д.с.) в унифицированные электрические сигналы, а также преобразования унифицированных пневматических сигналов в унифицированные электрические и наоборот.

Наибольшее распространение получили промежуточные преобразователи первой группы, поскольку большинство датчиков для измерения таких распространенных технологических параметров, как давление, уровень и расход, имеют механический выходной сигнал. Промежуточные преобразователи этой группы всегда составляют с датиком одно устройство.

Преобразователи второй группы обычно применяют с датчиками температуры в случаях, когда сигнал необходимо передавать на устройство, имеющее только унифицированный вход, например УВМ.

Преобразователи третьей группы позволяют переходить от пневматической ветви ГСП к электрической и наоборот. Такой переход обычно необходим при управлении технологическими процессами, которые ведутся в пожаро- и взрывоопасных условиях. Если управление таким процессом ведется с помощью локальных АСР, то применяют элементы пневматической ветви ГСП или электрические, конструкция которых позволяет применять их во взрывоопасных помещениях. Если же используется АСУ ТП, то сигналы из цеха к УВМ и от УВМ в цех передаются через пневмоэлектрические и электропневматические промежуточные преобразователи.

Промежуточный преобразователь представляет собой комбинацию элементарных преобразователей, обеспечивающую заданные метрологические характеристики: погрешность, стабильность, линейность, чувствительность. В большин-

стве преобразователей используется наиболее точный метод измерения – нулевой. Поэтому промежуточные преобразователи, как правило, представляет собой астатические следящие системы или статические с глубокой обратной связью.

Все промежуточные преобразователи пневматической ветви ГСП имеют одинаковый выходной унифицированный сигнал – давление сжатого воздуха от $0{,}2 \cdot 10^5$ до $1{,}0 \cdot 10^5$ Па. Среди промежуточных преобразователей с электрическим выходом наибольшее распространение получили преобразователи с выходным сигналом в виде постоянного тока, изменяющегося от 0 до 5 или от 4 до 20 мА. Такой выходной сигнал позволяет к одному промежуточному преобразователю подключить последовательно несколько потребителей: измерительные приборы, ретуляторы, машины централизованного контроля системы управления.

1.1 ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ СИЛЫ В ДАВЛЕНИЕ СЖАТОГО ВОЗДУХА

Такой преобразователь (рис. 2.54, *а*) состоит из рычага *1*, сопла с заслонкой *4*, сильфона *6*, а также пневматического усилителя мощности *5*.

Входным сигналом преобразователя является сила *F*, приложенная к левому плечу рычага *a*, а выходным – давление сжатого воздуха *p* на выходе усилителя мощности.

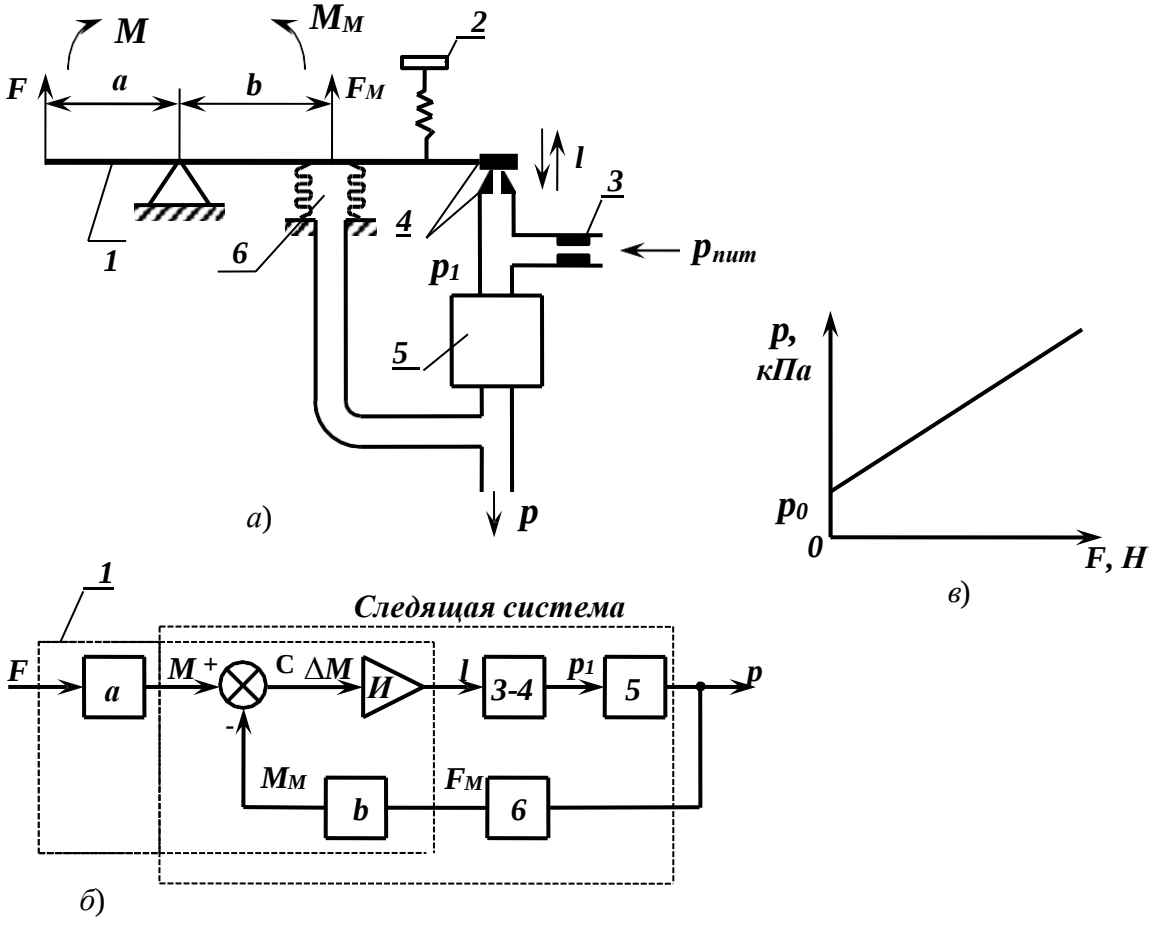


Рис. 2.54. Преобразователь силы в давление сжатого воздуха:

а – устройство; *б* – структурная схема; *в* – статическая характеристика;

1 – рычаг; *2* – корректор нуля; *3* – постоянный дроссель; *4* – сопло с заслонкой;

5 – усилитель мощности; *6* – сильфон; *a, b* – плечи рычага; С – сумматор; И – интегратор

На рисунке 2.54, *б* приведена структурная схема преобразователя, из которого видно, что его можно представить в виде последовательного соединения двух преобразователей: преобразователя измеряемой силы *F* в момент *M* (прило-женный к рычагу *1*) и преобразователя этого момента в выходное давление *p*. Второй преобразователь представляет собой следящую систему, в которой обрат-ным преобразователем является сильфон *6* вместе с правым плечом *b* рычага 1. Рычаг одновременно выполняет функции преобразования приложенных к нему сил *F* и $F_м$ в моменты *M* и $M_м$ (преобразователи *a* и *b*), вычитания этих моментов сумматора (С) и интегратора (И).

Рассмотрим принцип действия преобразователя. К рычагу приложены изме-ряемая сила *F* и сила *F*, создаваемая сильфоном *6*. Эти силы создают на рычаге противоположно направленные моменты

$$M = aF, \tag{2.1}$$

$$M_м = bF_м, \tag{2.2}$$

где a и b – длины плеч рычага.

Результирующий вращающий момент $\Delta M = M - M_м$ вызывает поворот рычага *1* и перемещение l расположенной на нем заслонки элементарного преобразователя сопло-заслонка *3*, *4*. Выходной сигнал этого преобразователя – давление сжатого воздуха p_1 – после усиления по мощности в усилителе *5* становится выходным сигналом p всего преобразователя. Этот выходной сигнал подается на вход обратного преобразователя – сильфона *6*, замыкая тем самым цепь обратной связи.

Наличие в следящей системе интегратора И в виде рычага делает ее астатической. Следовательно, в установившемся состоянии такой системы рассогласование равно нулю. Так как в расматриваемом преобразователе рассогласованием является разность моментов M и $M_м$, которые в состоянии равновесия оказываются равными. Это означает, что связь выходного сигнала следящей системы p с ее входным сигналом M такая же, как с сигналом $M_м$. Но, как видно из структурной схемы, момент $M_м$ – результат преобразования выходного давления p двумя преобразователями в цепи обратной связи: сильфоном *6* и плечом b рычага *1*.

Таким образом, статическая характеристика всей следящей системы, как преобразователя момента M в давление P, определяется только статической характеристикой цепи обратной связи.

Найдем статическую характеристику цепи обратной связи. Для сильфона имеем:

$$F_м = Sp. \tag{2.3}$$

Подставляя это выражение в формулу для рычага (2.2), получим статическую характеристику всей цепи обратной связи:

$$M_м = bSp. \tag{2.4}$$

Искомая статическая характеристика следящей системы получается из уравнения (2.4), если заменить в нем $M_м$ на M и затем решить относительно P:

$$P = M/bS. \tag{2.5}$$

Теперь можно получить статическую характеристику всего преобразователя. Для этого достаточно заменить момент M силой F по формуле (2.1):

$$P = kF,$$

где коэффициент пропорциональности $k = a/bS$ – коэффициент передачи преобразователя.

Тот факт, что статическая характеристика астатической следящей системы определяется только характеристикой обратной связи, является важным свойством следящих систем как измерительных устройств. Благодаря этому свойству метрологические требования ко всей системе могут быть выполнены в результате выбора преобразователя в цепи обратной связи с необходимой характеристикой. При этом в прямой цепи следящей системы могут быть применены преобразователи с низкими метрологическими качествами.

Так, в нашем случае перемещение рычага *1* преобразуется в выходное давление p преобразователем сопло–заслонка и усилителем мощности. Такое преобразование является нелинейным и, кроме того, зависит от давления питания $p_{\text{пит}}$.

В преобразователе имеется корректор нуля *2* (пружина). Изменяя натяжение пружины, можно создавать дополнительный вращающий момент на рычаге и тем самым изменять величину входного сигнала преобразователя при неизменном значении входного. При наладке преобразователя корректором устанавливают начальное значение выходного давления ($P_0 = 0{,}2 \cdot 10^5$ Па) при нулевом значении измеряемой силы F.

С учетом влияния корректора статическая характеристика преобразователя силы в давление сжатого воздуха примет вид:

$$p = p_0 + kF. \qquad (2.6)$$

График этой характеристики приведен на рис. 2.55, *в*.

Следует подчеркнуть, что в данном преобразователе с помощью астатической следящей системы реализуется нулевой метод измерения. При этом роль переменной меры играют преобразователи в цепи обратной связи. Такой же прием используется во всех промежуточных преобразователях, которые будут описаны ниже.

Рассмотренный преобразователь может служить и для преобразования перемещения и давления сжатого воздуха. В этом случае перед ним включают дополнительный преобразователь перемещения в силу (например, пружину).

Для преобразования силы в давление сжатого воздуха промышленность выпускает преобразователи, обычно объединенные в один блок с первичным преобразователями, имеющими выходной сигнал в виде силы. Поэтому для них регламентируются лишь предельное расстояние передачи выходного сигнала по пневмотрассе (300 м) и постоянная времени (равная 7 с) при работе преобразователя на тупиковую импульсную трубку длиной 60 м и внутренним диаметрам 6 мм. Эта постоянная времени обусловлена нагрузочным эффектом и зависит от мощ-ности выходного сигнала, для повышения которого и применен пневматический усилитель мощности.

Предельное значение силы *F*, измеряемой преобразователем, для различных моделей – от 10 до 100 Н.

1.2 ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ТОКА В ДАВЛЕНИЕ СЖАТОГО ВОЗДУХА

Такой преобразователь (рис. 2.55, *а*) состоит из рычага *1*, преобразователя сопло-заслонка *3*, *4*, сильфона *6*, магнитоэлектрического преобразователя *7*, а также пневматического усилителя мощности *5*.

Входным сигналом преобразователя является ток *i* в катушке магнитоэлектрического преобразователя, а выходным – давление сжатого воздуха *p* на выходе усилителя мощности.

Сравнив этот преобразователь с рассмотренным выше, можно, заметить, что он представляет собой последовательное соединение двух преобразователей (рис. 2.55, *б*). Первый – магнитоэлектрический преобразователь *7* входного тока *i* в силу *P*. Второй – преобразователь *8* этой силы в выходное давление сжатого воздуха *P*. Так как статические характеристики обоих преобразователей линейны, то и статическая характеристика всего преобразователя тока в давление сжатого воздуха также линейна.

Статическая характеристика преобразователя приведена рис. 2.55, *в*.

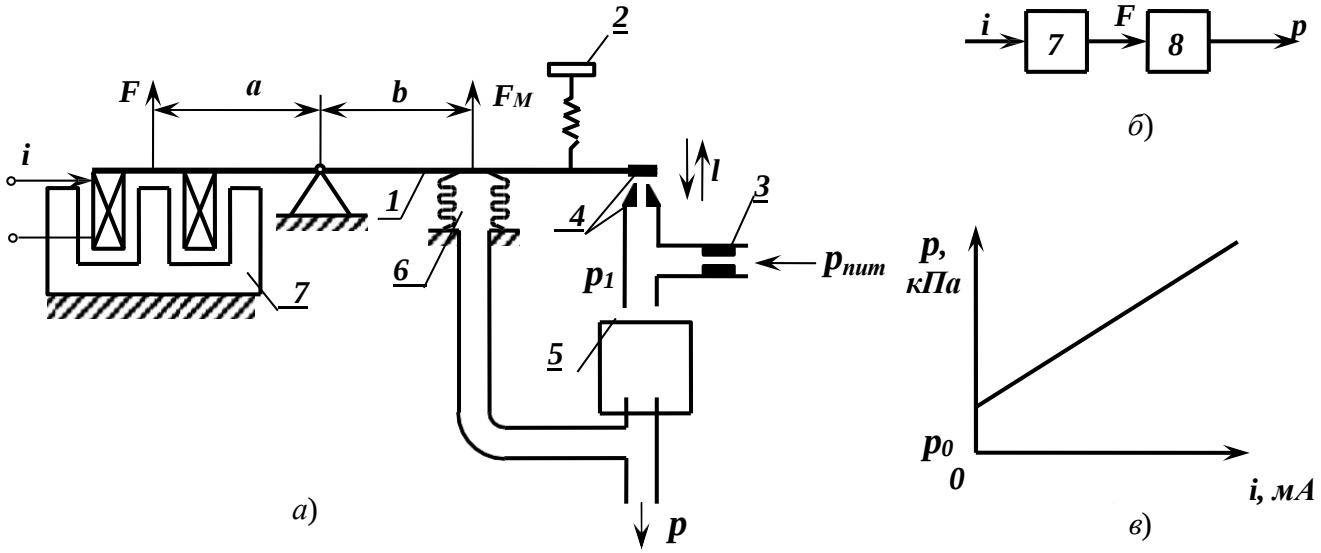


Рис. 2.55. Преобразователь тока в давление сжатого воздуха:

а – устройство; *б* – структурная схема; *в* – статическая характеристика;

1 – рычаг; *2* – корректор нуля; *3* – постоянный дроссель; *4* – сопло с заслонкой;

5 – усилитель мощности; *6* – сильфон; *7* – магнитоэлектрический преобразователь;

8 – преобразователь силы в давление сжатого воздуха

Установка начального значения выходного давления $P_0 = 0{,}2 \cdot 10^5$ Па при нулевом входном токе производится корректором нуля *2*.

1.3ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ СИЛЫ В ТОК

Преобразователь (рис. 2.56, *а*), состоит из рычага *1*, дифференциально-трансформаторного преобразователя *3*, магнитоэлектрического преобразователя *5*, а также электронного усилителя *4* с выпрямителем переменного тока.

Входным сигналом преобразователя является сила *F*, приложенная к левому плечу рычага *a*, а выходным – ток *i* на выходе усилителя.

Структурная схема преобразователя приведена на рис. 2.56, *б*. Из схемы видно, что его можно представить в виде двух последовательно соединенных преобразователей: преобразователя измеряемой силы *F* в момент *M* (приложенный к рычагу 1) и преобразователя этого момента в выходной сигнал *i*. Второй преобразователь представляет собой следящую систему, в цепь обратной связи, которой включен магнитоэлектрический преобразователь *5* вместе с правым плечом рычага *b*. Рычаг выполняет те же функции, что и в преобразователях двух рассмотренных выше типов.

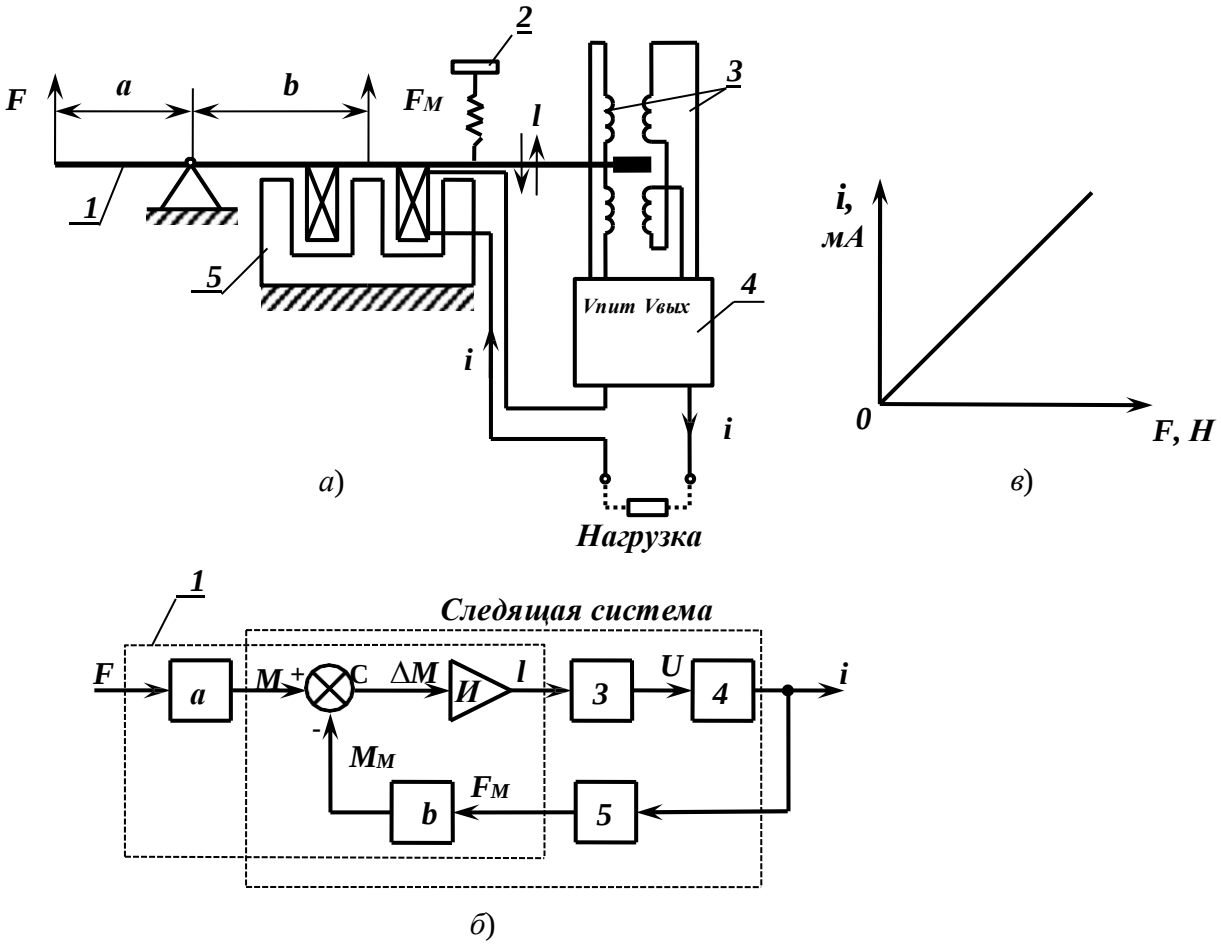


Рис. 2.56. Преобразователь силы в ток:

а – устройство; *б* – структурная схема; *в* – статическая характеристика;
1 – рычаг; *2* – корректор нуля; *3* – дифференциально-трансформаторный преобразователь;
4 – усилитель; *5* – магнитоэлектрический преобразователь

Принципы действия этих преобразователей во многом схожи. Здесь на рычаг *1* также действуют две силы: измеряемая сила F и сила $F_м$, создаваемая магнитоэлектрическим преобразователем *5*. Моменты этих сил M и $M_м$ сравниваются на рычаге, и результирующий вращающий момент ΔM вызывает поворот рычага и перемещение l прикрепленного к нему плунжера дифференциально-трансформаторного преобразователя *3*. Этот преобразователь преобразует перемещение l в напряжение U переменного тока, которое затем усиливается и выпрямляется в электронном усилителе *4*. Выходной сигнал усилителя – постоянный ток i – проходит через внешнюю нагрузку (например, миллиамперметр) и катушку магнитоэлектрического преобразователя, которые включены последовательно. Иначе говоря, выходной сигнал преобразователя – ток I – подается на вход магнитоэлектрического преобразователя *7*, замыкая тем самым контур обратной связи следя-

щей системы. Наличие интегратора И (рычага) делает эту систему астатической аналогично следящей системе на рис. 2.56, *б*. Поэтому статическая характеристика системы также определяется статической характеристикой цепи обратной связи. Магнитоэлектрический преобразователь в этой цепи имеет линейную характеристику и поэтому статическая характеристика всей следящей системы – зависимость тока i от момента M – также линейна. А так как характеристика преобразователя силы F в момент M линейная, то и статическая характеристика всего преобразователя оказывается также линейной. Эта характеристика приведена на рис. 2.56, *в*.

Промышленность выпускает преобразователь силы в ток, который состоит из двух отдельных блоков. Один блок включает в себя элементы, имеющие механическую связь между собой: рычаг дифференциально-трансформаторный преобразователь и магнитоэлектрический преобразователь. Вторым блоком преобразователя является электронный усилитель. Расстояние между блоками должно быть не более 3 м при монтаже линии связи неэкранированным кабелем и не более 100 м при монтаже экранированным кабелем. Сопротивление нагрузки – не более 2500 Ом.

Измерительные приборы или другие потребители, например регулятор, могут быть подключены к преобразователю по двум схемам: измерения тока или измерения напряжения. В первом случае несколько потребителей соединяются последовательно друг с другом, во втором – параллельно специальному нагрузочному резистору.

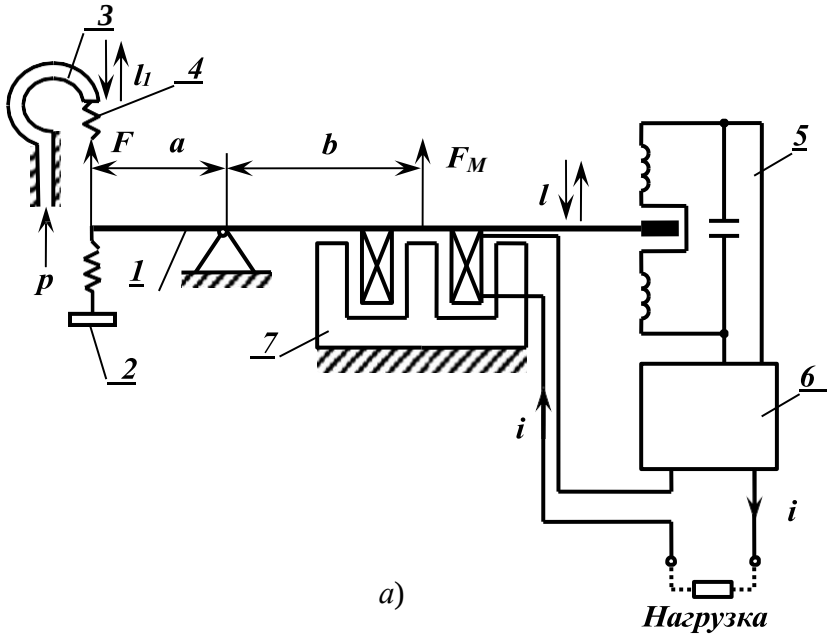
В преобразователе имеется корректор нуля *2* – пружина, натяжением которой устанавливают нулевое значение выходного тока при нулевом значении измеряемой силы.

Максимальная сила, измеряемая преобразователем, в зависимости от модели, от 10 до 100 Н.

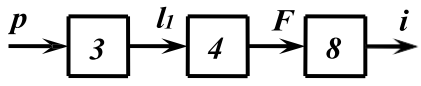
1.4ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ДАВЛЕНИЯ СЖАТОГО ВОЗДУХА В ТОК

Такой преобразователь (рис. 2.57, *а*) состоит из трубчатой пружины *3*, пружины *4*, рычага *1*, колебательного контура *5* специального усилителя *6* и магнито-

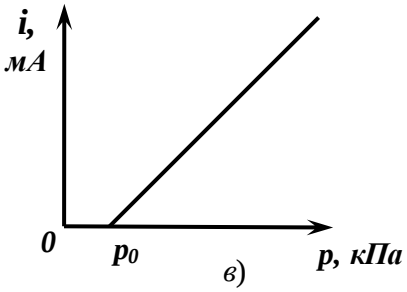
электрического преобразователя *7*.



а)



б)



в)

Рис. 2.57. Преобразователь давления сжатого воздуха в ток:

а – устройство; *б* – структурная схема; *в* – статическая характеристика;
1 – рычаг; *2* – корректор нуля; *3* – трубчатая пружина; *4* – пружина; *5* – колебательный контур;
6 – усилитель; *7* – магнитоэлектрический преобразователь; *8* – преобразователь силы в ток

Входным сигналом преобразователя является давление сжатого воздуха P, подаваемое в трубчатую пружину, а выходным – ток i.

Структурная схема преобразователя приведена на рис. 2.57, *б*. Как видно из схемы, преобразователь представляет собой последовательное соединение трех преобразователей. Первый – преобразователь *3* давления сжатого воздуха P в перемещение l_1 конца трубчатой пружины, второй преобразователь *4* этого перемещения в силу F, приложенную к левому плечу a рычага *1*. Статические характеристики обоих этик преобразователей линейны. Третий преобразователь *8* силы F в выходной ток i почти аналогичен предыдущему. Отличается он лишь тем, что перемещение l преобразуется не в напряжение переменного тока U, а в резонансную частоту колебательного контура *5* и затем усилителем *6* – в выходной ток i.

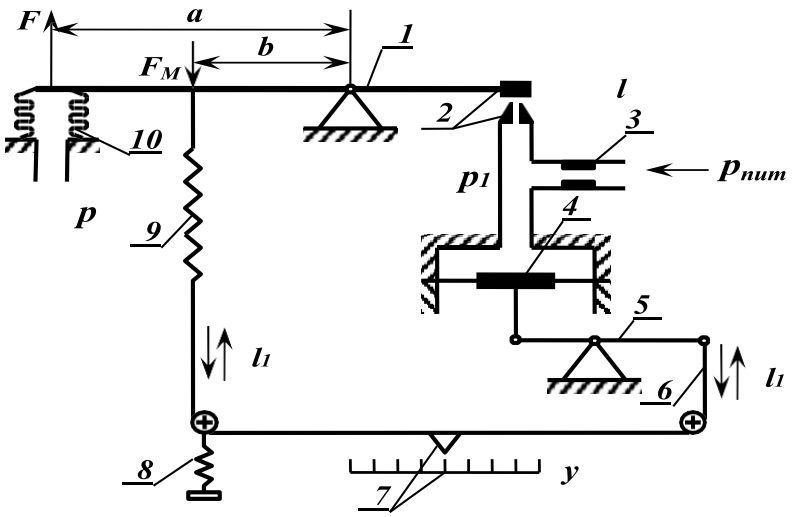
Статическая характеристика преобразователя *8* определяется характеристикой магнитоэлектрического преобразователя *7* и поэтому линейна. Следователь-но, рассмотренный преобразователь, измерительная цепь которого состоит из трех преобразователей, имеет линейную статическую характеристику (рис. 2.57, *в*).

В преобразователе имеется: корректор нуля *2*, изменяющий натяжение пружины *4*. Этим корректором устанавливают нулевое значение выходного тока при начальном значении измеряемого давления P_0.

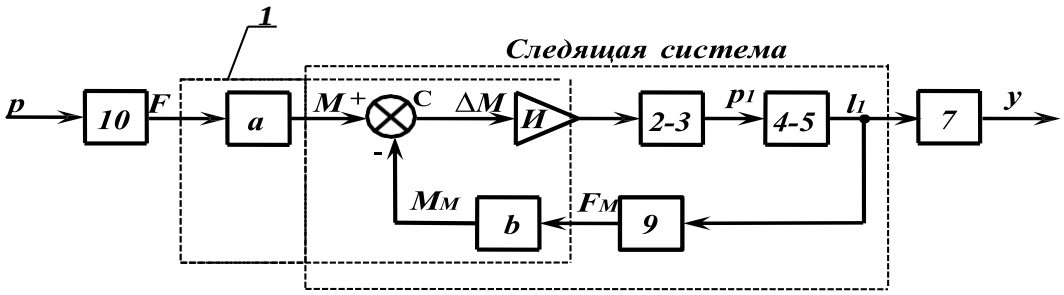
1.4.1 ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ДАВЛЕНИЯ В ПЕРЕМЕЩЕНИЕ

Принципиальная схема преобразователя приведена на рис. 2.58, *а*. Прибор состоит из сильфона *10*, рычага *1*, сопла с заслонкой *2*, мембраны *4*, связанной с рычагом *5*, и пружины *9*, связанной с другим концом рычага *5* леской *6*. На леске укреплена стрелка показывающего устройства *7*. Структурная схема прибора дана на

рис. 2.58, *б*. Измерительная цепь состоит из четырех преобразователей. Первый – сильфон *10* – преобразует измеряемое давление *P* в силу *F*, приложенную к рычагу *1*. Второй преобразует эту силу в момент *M*. Функцию этого преобразователя



а)



б)

Рис. 2.58. Преобразователь давления в перемещение:

а – принципиальная схема; *б* – структурная схема

выполняет большее плечо *a* рычага *1*. Третий преобразует этот момент в перемещение стрелки *1* и представляет собой следящую систему. Цепь обратной связи этой системы образована пружиной *9* и меньшим плечом *b* рычага *1*. Наконец, четвертый преобразователь – показывающее устройство *7* – преобразует перемещение стрелки относительно шкалы в перемещение *y*.

Рассмотрим принцип действия преобразователя. К плечам рычага *1* приложены две силы: сила F, развиваемая сильфоном, и сила $F_м$, создаваемая пружиной. Эти силы создают на рычаге противоположно направленные моменты M и $M_м$. Результирующий момент ΔM, равный их разности, преобразуется в перемещение l заслонки относительно сопла. Выходное давление P_1 преобразователя соплозаслонка *2*, *3* действует на мембрану *4*. Прогиб мембраны вызывает поворот рычага *5*. При этом правый конец рычага тянет леску *6*, вызывая перемещение l нижнего конца

пружины. Это перемещение является выходным сигналом следящей системы и одновременно входным сигналом цепи обратной связи. Растяжение пружины вызывает силу $F_м$, которая через меньшее плечо рычага b создает на нем момент $M_м$, замыкая тем самым контур обратной связи следящей системы.

В прямой цепи этой системы находится интегратор, роль которого выполняет рычаг *1*, и поэтому она является астатической. Статическая характеристика астатической системы, как известно, определяется характеристикой элементам в цепи обратной связи – пружины *9* с плечом b рычага. Следовательно, она линей-ная. Остальные элементы цепи на рис. 2.58, *б* имеют также линейные характеристики, поэтому шкала преобразователя получается одномерной.

10