

Лабораторная работа

ИЗУЧЕНИЕ РАБОТЫ УСИЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

1. Общие сведения

В автоматике очень часто мощность выходного сигнала датчика недостаточна для приведения в действие исполнительного устройства автоматической системы, и поэтому ее необходимо увеличивать. Эффект увеличения по мощности осуществляется в усилителях за счет энергии вспомогательного источника.

В зависимости от вида вспомогательного источника энергии усилители делятся на следующие группы: электрические, гидравлические, пневматические и комбинированные.

По количеству ступеней усилители делятся на однокаскадные и многокаскадные,

Также бывают усилители с обратными связями и без них.

Применяются чаще всего электрические усилители, которые можно разделить на две большие подгруппы:

- усилители, не содержащие подвижных частей (электронные, полупроводниковые, тиратронные, магнитные);
- усилители, содержащие подвижные части (электромашинные).

К основным характеристикам усилителей относятся:

1. Коэффициент усиления; мощность, потребляемая от вспомогательного источника энергии; выходная мощность; коэффициент полезного действия (КПД); быстродействие (значение постоянной времени); входное и выходное сопротивления усилителя; собственные шумы усилителя (появление выходной величины при входной величине, равной нулю).

1. Коэффициент усиления - показывает, во сколько раз мощность, на выходе усилителя больше мощности на его входе:

$$K_p = \frac{P_{ВЫХ}}{P_{ВХ}} \quad (1)$$

2. Мощность, потребляемая от вспомогательного источника энергии;

3. Выходная мощность

4. Коэффициент полезного действия - КПД.

5. Быстродействие (значение постоянной времени). Усилители магнитные, электромашинные, гидравлические и пневматические имеют меньшее быстродействие, чем электронные и полупроводниковые усилители. Например, значение постоянной времени электронного усилителя равно $10^{-6}—10^{-10}$ с, а пневматического усилителя— $1—10^{-1}$ с.

6. Входное и выходное сопротивления имеют место только для электрических усилителей. Эти сопротивления необходимо учитывать при согласовании усилителей с предыдущими и последующими элементами автоматической или телемеханической системы.

Полупроводниковые, магнитные и электромашинные усилители имеют меньшее значение входного сопротивления, чем электронные усилители. Так, входное сопротивление электронного усилителя равно $10^6—10^{12}$ Ом, а входное сопротивление полупроводникового усилителя— $10^2—10^5$ Ом.

Усилители с низким входным сопротивлением нельзя использовать, например, для усиления сигналов емкостных датчиков, фотоэлементов, имеющих большое выходное сопротивление.

7. Собственные шумы усилителя (появление выходной величины при входной величине, равной нулю)

Область применения и особенности различных усилителей

1) Электронные усилители - выполняют на основе электронных ламп. В автоматике применяются электронные усилители двух видов: усилители с непосредственной связью между каскадами (или усилители постоянного тока) и усилители переменного тока.

Электронные усилители имеют следующие преимущества:

- возможность получения больших коэффициентов усиления;
- большое быстродействие;
- усиление очень малых сигналов;
- отсутствие подвижных частей;
- высокая стабильность характеристик;
- возможность непосредственного согласования с другими видами усилителей;
- широкий диапазон усиливаемых частот.

К недостаткам электронных усилителей можно отнести небольшую механическую прочность, малую надежность, малый срок службы, низкий КПД.

Как правило, мощность электронных усилителей составляет от десятых долей ватта до нескольких десятков ватт.

2) Полупроводниковые усилители – для их построения используются полупроводниковые триоды и тиристоры. Обычно полупроводниковые триоды и тиристоры изготавливаются из германия или кремния с соответствующими примесями. Полупроводниковые усилители выполняются мощностью от десятых долей ватта до нескольких десятков ватт.

Преимущества: высокая надежность и долговечность, вибро- и ударостойкость, малые размеры и масса, мгновенная готовность к работе, экономичность.

Недостатки: большой разброс параметров, зависимость параметров и характеристик от температуры окружающей среды, малое входное и большое выходное сопротивление.

3) Тиратронные усилители – для их построения применяются мощные паро- или газонаполненные трех- или четырехэлектродные лампы (тиратроны). Характеристики тиратронных усилителей во многом совпадают с техническими характеристиками электронных усилителей.

Основным преимуществом тиратронных усилителей по сравнению с электронными усилителями является большая выходная мощность, которая получается за счет большего анодного тока. Анодный ток для современных тиратронов колеблется от нескольких сотен миллиампер до нескольких сотен ампер. Увеличение анодного тока тиратрона возможно из-за наличия ионизированного газа в пространстве между анодом и катодом.

К недостаткам тиратронных усилителей относятся: большой разброс параметров и небольшая чувствительность, необходимость предварительного прогрева катода тиратрона до подачи питания на анод (время прогрева катода может составлять от 10 с до 40 мин).

4) Магнитные усилители. В простейшем виде магнитный усилитель представляет собой дроссель насыщения переменного тока, в цепь которого последовательно с рабочей обмоткой включено сопротивление нагрузки. Выходное напряжение снимается с нагрузки.

Основные достоинства магнитных усилителей:

- высокая надежность и большой срок службы, так как они не имеют подвижных частей.
- возможность работы в широком диапазоне изменения температуры, давления и влажности.
- взрыво- и пожаробезопасность, потому что в них отсутствуют источники искрения;
- готовность к работе после включения питания (не требуется разогрев);
- высокий КПД;
- большой порог чувствительности – возможность усиления слабых сигналов постоянного тока мощностью 10^{-19} — 10^{-17} Вт;
- большая выходная мощность (до сотен тысяч киловатт);
- большой коэффициент усиления по мощности (например, для одного каскада он может быть равен 10^6);
- уменьшение габаритов и массы магнитного усилителя с повышением частоты (400 Гц и выше).

Наиболее существенным недостатком магнитных усилителей по сравнению с электронными и полупроводниковыми усилителями является их большая инерционность, которая вызвана индуктивностью обмотки управления L_U . Инерционность в основном определяется отставанием во времени тока управления I_U от напряжения управления U_U .

5) Электромашинные усилители (ЭМУ) – представляют генераторы постоянного тока, предназначенные для усиления по мощности сигналов, подаваемых на обмотку возбуждения.

В электромашинных усилителях выходная (управляемая) электрическая мощность создается за счет механической мощности приводного двигателя.

Обычный генератор тоже является ЭМУ, однако он не удовлетворяет необходимым требованиям, так как не обладает достаточным быстродействием и имеет низкий коэффициент усиления. Для получения большого коэффициента усиления и малой инерционности схема обмоток и конструкция ЭМУ существенно отличаются от применяемых в обычных генераторах постоянного тока.

В зависимости от способа возбуждения электромашинные усилители подразделяются на усилители продольного поля (вдоль оси машины) и усилители поперечного поля (поперек оси машины).

Электромашинные усилители нашли широкое применение в системах автоматического регулирования и автоматизированного электропривода.

б) Гидравлические усилители — это устройства, которые усиливают сигнал по мощности, служащий для управления регулируемыми дросселями, насосами, клапанами или гидродвигателями. Они преобразуют и усиливают малые входные сигналы до значений, необходимых для управления мощными гидродвигателями, поэтому являются неотъемлемой частью систем гидроприводов.

В этих усилителях входной сигнал подается непосредственно на регулятор, в качестве которого используются: струйная трубка, золотник и сопло-заслонка.

Эти усилители осуществляют управление расходом жидкости за счет изменения площади щели. Изменяя площадь щели, можно получить желаемое соотношение между расходом жидкости, проходящей через щель, и перепадом давлений на ней.

Для управления более мощными гидродвигателями применяются двух-, трех- и более каскадные усилители.

7) Пневматические усилители – в них рабочим телом является сжатый воздух, иногда инертный газ.

Пневматические усилители делятся на три класса: поршневые, мембранные и струйные.

Пневматические усилители получили широкое распространение благодаря тому, что при изменении температуры физические свойства воздуха изменяются мало. Воздух не требует трубопроводов для линии возврата, так как его можно выпускать в атмосферу. Кроме того, воздух взрыво- и пожаробезопасен, а также не подвержен радиационным и магнитным воздействиям. Пневматические усилители просты в изготовлении, дешевы и надежно работают при высоких и низких температурах.

К основным недостаткам этих усилителей следует отнести запаздывание передачи сигнала и повышенные требования к осушке и очистке воздуха. Скорость передачи сигнала в пневматических усилителях почти равна скорости звука, в то время как электрический сигнал в электронных и полупроводниковых усилителях передается со скоростью, близкой к скорости света. Пневматические усилители применяются в полосе низких частот (до сотен, тысяч герц).

2. Устройство и принцип работы магнитных усилителей

Принцип действия магнитного усилителя основан на использовании явления насыщения ферромагнитных материалов в магнитном поле, т. е. нелинейности их характеристик намагничивания $B = f(H)$ (рис. 1, а).

В простейшем виде магнитный усилитель представляет собой дроссель насыщения переменного тока, в цепь которого последовательно с рабочей обмоткой w_p включено сопротивление нагрузки R_H (рис. 1, б). Выходное напряжение $U_{ВЫХ}$ снимается с нагрузки R_H

Дроссель насыщения переменного тока представляет собой устройство индуктивности которого может меняться в широких пределах за счет подмагничивания дросселя постоянным током.

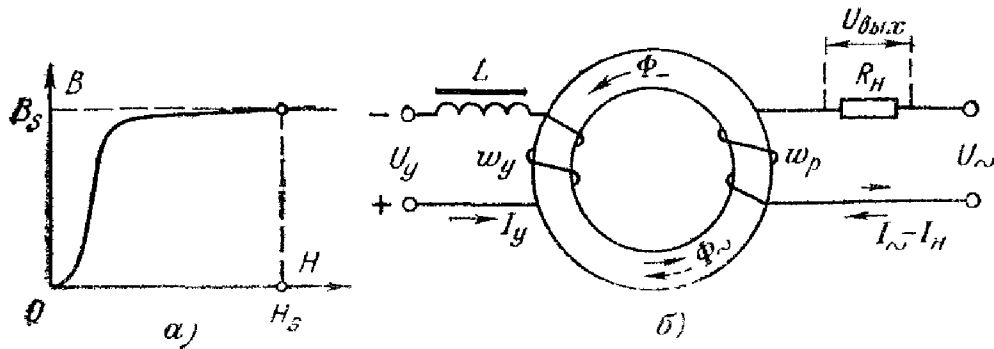


Рис 1 Простейший дроссельный магнитный усилитель:
а) зависимость магнитной индукции B от напряженности магнитного поля H ; б) схема

Будем считать, что ток в рабочей цепи I_{\sim} является синусоидальным и его значение можно найти по формуле:

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X_p^2}} \quad (2)$$

где U_{\sim} — напряжение питания магнитного усилителя;
 R — полное активное сопротивление рабочей цепи;
 X_p — индуктивное сопротивление рабочей обмотки.

Полное активное сопротивление рабочей цепи R состоит из активного сопротивления нагрузки R_n и активного сопротивления рабочей обмотки R_p :

$$R = R + R_p \quad (3)$$

Индуктивное сопротивление рабочей обмотки X_p определяется по формуле:

$$X_p = \omega \cdot L_p \quad (4)$$

где $\omega = 2\pi f$ — угловая частота питания рабочей цепи;
 L_p — индуктивность рабочей обмотки, определяемая по формуле:

$$L_p = \frac{w_p^2 \cdot S_c}{l_c} \mu_c \quad (5)$$

здесь w_p — число витков рабочей обмотки;
 S_c — площадь поперечного сечения ферромагнитного сердечника;
 l_c — длина средней магнитной линии сердечника;
 μ_c — магнитная проницаемость сердечника.

Подставим в формулу (2) вместо X_p выражение $\omega \cdot L_p$ и запишем ее в следующем виде:

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\omega \cdot L_p)^2}} \quad (6)$$

Из формулы (6) следует, что ток в рабочей цепи, или в нагрузке, $I_{\sim} = I_n$ зависит от индуктивности рабочей обмотки L_p , которая согласно формуле (5) пропорциональна μ_c . В свою очередь магнитная проницаемость ферромагнитного сердечника (μ_c зависит от магнитной индукции B и напряженности внешнего магнитного поля H ($\mu_c = \Delta B / \Delta H$)). При отсутствии управляющего напряжения U_{γ} на входе дроссельного магнитного усилителя напряженность постоянного магнитного поля $H = 0$. В этом случае магнитная проницаемость μ_c имеет большое значение. Следовательно, индуктивность L_p и индуктивное сопротивление рабочей обмотки X_p имеют также большие значения. В данной случае ток в рабочей цепи I_{\sim} имеет небольшое

значение. Его обычно называют током холостого хода. При этом большая часть переменного напряжения $U_{(-)}$ падает на рабочей обмотке w_p , а незначительная часть — на нагрузке R_H (рис. 1,б).

При подаче на вход усилителя управляющего напряжения U_y по цепи управления потечет ток управления I_y , в результате которого возникает напряженность постоянного магнитного поля H . Ферромагнитный сердечник усилителя насыщается и его магнитная проницаемость μ_c падает. Следовательно, индуктивное сопротивление рабочей обмотки X_p также падает, в результате чего ток в рабочей цепи $I_{(-)}$ увеличивается. В этом случае большая часть переменного напряжения $U_{(-)}$ падает уже на нагрузке R_H , а меньшая часть — на рабочей обмотке w_p .

3. Устройство и принцип работы гидравлических усилителей

а) Струйные гидравлические усилители

В этих усилителях происходит преобразование давления жидкости в кинетическую энергию струи, а затем энергия струи обратно превращается в давление. Принцип работы струйных гидравлических усилителей основан на отклонении высокоскоростного потока жидкости от приемного сопла. Данные усилители можно разделить на две группы: усилители со стационарной струей (в струю вводится заслонка) и усилители с поворотной струей или усилители со струйной трубкой.

На рис. 2,а приведен струйный гидравлический усилитель со стационарной струей. При вытекании жидкости из камеры 1 через выпускное сопло 2 образуется струя 3, которая направляется через воздушное пространство в приемное сопло 5. Между выпускным и приемным соплами на одинаковом расстоянии друг от друга помещается заслонка 4 с острыми кромками, выполняющая роль управляющего органа гидравлического усилителя. Если конец заслонки 4 не введен в поток жидкости, то поршень 7, расположенный в полости двигателя 6, не перемещается, так как давление P_1 равно давлению P_2 .

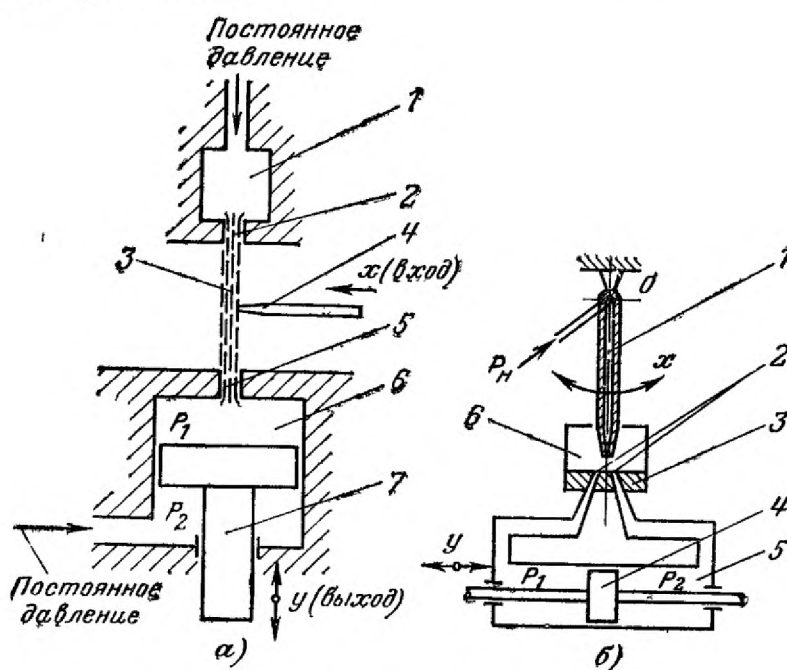


Рис. 2. Струйные гидравлические усилители:
а) со стационарной струей; б) с поворотной струей

Если конец заслонки 4 вводится в поток жидкости (на рис. 2,а показано стрелкой), то струя 3 отклоняется от приемного сопла 5 и поршень 7 начинает перемещаться вверх, так как давление P_1 становится меньше давления P_2 .

Следует помнить, что правильная работа гидравлического усилителя зависит от того, насколько ровно течет струя жидкости. Для того чтобы струя жидкости текла ровно, большое

внимание при изготовлении усилителя уделяется поверхности и форме выпускного сопла 2. Обычно такие усилители работают при низком давлении.

Усилитель с поворотной струёй или усилитель со струйной трубкой показан на рис. 2,б. Роль управляющего органа выполняет струйная трубка 1, которая может поворачиваться вокруг точки вращения О. Струйная трубка представляет собой трубку с коническим насадком на конце. Напротив насадка располагается плита 3, имеющая два приемных сопла 2. При повороте струйной трубки (перемещение трубки является входной величиной x) большая часть струи жидкости, попадая, например, в левое приемное сопло, увеличивает в нем давление и поршень 4 будет перемещаться в полости цилиндра 5 слева направо, так как давление P_1 в левой полости цилиндра больше, чем давление P_2 . В этом случае жидкость из правой полости цилиндра будет сливаться под колпачок 6 через правое приемное сопло.

Если струйную трубку перемещать в обратную сторону, то давление P_2 становится больше давления P_1 и поршень будет перемещаться в полости цилиндра справа налево. При равенстве давлений P_1 и P_2 поршень не перемещается.

Давление нагнетания P_H обычно не превышает $9,81 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ (10 кгс/см^2). Основное достоинство усилителя со струйной трубкой состоит в том, что он может работать даже и на слабо очищенных жидкостях.

К основным недостаткам усилителя со струйной трубкой следует отнести неполное использование мощности потока рабочей жидкости в результате потерь между насадком и приемными соплами 2 и небольшие значения давления питания. Струйные гидроусилители широко применяются в авиации и в системах промышленной автоматики.

4. Устройство и принцип работы пневматических усилителей

а) Поршневые пневматические усилители

Поршневые пневматические усилители применяются в автоматике для больших выходных мощностей и перемещений. К этим усилителям можно отнести: поршневые усилители с управлением типа сопло—заслонка и от струйной трубки.

На рис. 3,а приведена схема поршневого пневматического усилителя с управлением типа сопло—заслонка. При нейтральном положении заслонки 4 поршень 6 не передвигается, потому что давления P_1 и P_2 в обеих полостях цилиндра 5 равны, усилия, создаваемые соплами 3 и 7 на заслонку 4, одинаковы. При перемещении заслонки 4, например, вниз давление P_2 возрастает и поршень 6 передвигается вверх. Дроссели 1 и 2 являются дросселями постоянного сечения и выполняют роль пневматических сопротивлений.

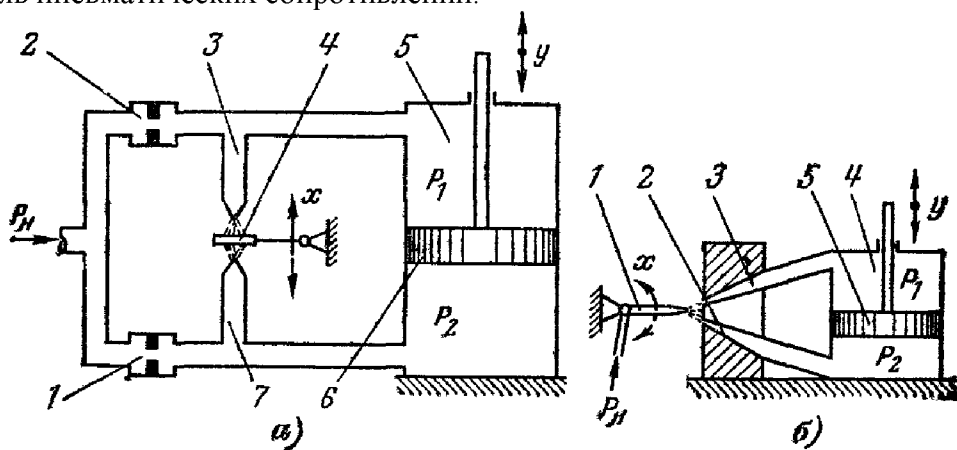


Рис. 3 Поршневые пневматические усилители:

а) с управлением типа сопло-заслонка; б) с управлением от струйной трубки

Схема поршневого пневматического усилителя с управлением от струйной трубки изображена на рис. 3,б. Воздух под давлением нагнетания P_H поступает через струйную трубку 1 в приемные сопла 2 и 3. Если струйная трубка 1 расположена строго посередине сопел 2 и 3, то в полостях цилиндра 4 давления P_1 и P_2 равны между собой и поршень 5 не перемещается. При перемещении трубки 1, например, вверх большая часть струи будет проходить через приемное сопло 3 и

меньшая часть струи - через приемное сопло 2. В этом случае давление P_1 возрастает, а давление P_2 уменьшается, поршень 5 перемещается вниз.

б) Струйные пневматические усилители

В настоящее время в технике широко применяются струйные пневматические усилители. Принцип действия этих усилителей так же, как и других струйных элементов, основан на использовании гидроаэродинамического эффекта, получаемого при взаимодействии струй между собой или при обтекании струями стенок элементов. В струйных усилителях мощная струя рабочей среды (воздуха или гелия), выходящая из неподвижного жестко закрепленного насадка, отклоняется от исходного положения менее мощной струей, направленной перпендикулярно первой.

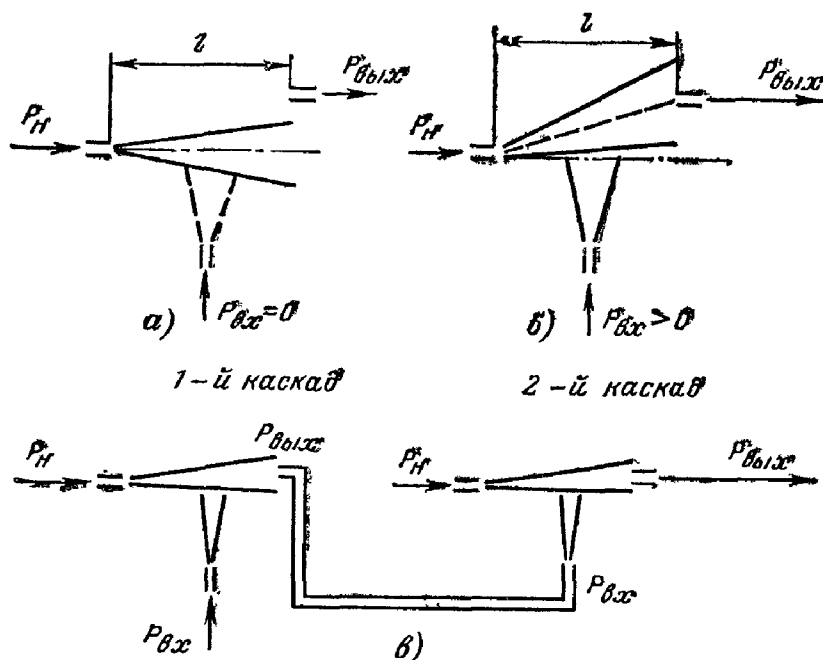


Рис. 4. Струйные пневматические усилители:

а) схема простейшего однокаскадного усилителя без входного давления; б) с входным давлением, в - двухкаскадный

На рис. 4 показаны схемы простейших струйных усилителей. Если давление входной струи рабочей среды равно нулю ($P_{ВХ} = 0$), то положение струи, выходящей из канала нагнетания под давлением P_H , условно можно показать так, как изображено на рис. 4,а. В этом случае струя рабочей среды не отклоняется от исходного положения. При увеличении давления входной струи ($P_{ВХ} > 0$) струя нагнетания под давлением P_H будет отклоняться от исходного положения (отвечающего значению $P_{ВХ} = 0$) и давление выходной струи $P_{ВЫХ}$ будет возрастать (рис. 4,б).

Основным параметром струйного усилителя является коэффициент усиления по давлению

$$K_{\text{дав}} = \frac{P_{\text{ВЫХ}}}{P_{\text{ВХ}}}$$

Этот коэффициент зависит от расстояния l . Для увеличения коэффициента $K_{\text{ДАВ}}$ в технике применяются двухкаскадные (рис. 4,в), а иногда и трехкаскадные струйные пневматические усилители. Габариты струйных усилителей колеблются от нескольких миллиметров до нескольких метров. Они могут работать в широком диапазоне выходных избыточных давлений — от 100 мм вод. ст. до 7 МПа (70 кгс/см²), при этом управляющие входные избыточные давления соответственно изменяются от 0,1 мм вод. ст. до 0,07 МПа (0,7 кгс/см²), т. е. последние в 100 раз меньше выходных избыточных давлений.