

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Гомельский государственный технический университет
имени П.О. Сухого»
Кафедра «Гидропневмоавтоматика»

ЭЛЕМЕНТЫ ПНЕВМОСИСТЕМ
ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
по курсу «Элементы управления и регулирования
гидропневмосистем»
для студентов специальности 1-36 01 07
«Гидропневмосистемы мобильных
и технологических машин»

Гомель 2006

УДК 621.225(075.8)
ББК 34.9я73
Э45

*Рекомендовано научно-методическим советом
машиностроительного факультета ГГТУ им. П. О. Сухого
(протокол № 2 от 29.11.2004 г.)*

Авторы-составители: *В. В. Пинчук, В. А. Полонский*

Рецензент: канд. техн. наук, доц. каф. «Детали машин»
ГГТУ им. П. О. Сухого *А. Т. Бельский*

Э45 **Элементы** пневмосистем : лаб. практикум по курсу «Элементы управления и регулирования гидропневмосистем» для студентов специальности 1-36 01 07 «Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин» / авт.-сост.: В. В. Пинчук, В. А. Полонский. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2006. – 29 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; свободное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим доступа: <http://gstu.local/lib>. – Загл. с титул. экрана.

Лабораторный практикум содержит методические указания к лабораторным работам. Приведены порядок выполнения работ, обработки результатов и оформления отчета.

Для студентов специальности 1-36 01 07 «Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин».

УДК 621.225(075.8)
ББК 34.9я73

© Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
университет имени П. О. Сухого», 2006

Лабораторная работа № 1.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО УСИЛИТЕЛЯ ТИПА «СОПЛО ЗАСЛОНКА».

1. Цель работы.

Целью работы является ознакомление с действием пневматического усилителя «сопло-заслонка», снятие его статической и расчетной теоретической характеристик и сравнением их.

2. Общие сведения.

Усилитель "сопло-заслонка" является одним из основных элементов аналоговых и дискретных устройств пневмоавтоматики. Он состоит (см. рис.1) из постоянного дросселя "б", называемого жиклёром, и переменного пневмосопротивления, образуемого соплом "а" и заслонкой. Между соплом и жиклёром расположена пневмочемкость V . Статическая характеристика усилителя представляет собой зависимость давления в пневмочемкости от величины перемещения заслонки $P = f(h)$.

Уравнение статической характеристики выводится из условия равенства расходов воздуха через дроссели "а" и "б". Для случая докритического истечения воздуха через дроссели, что всегда имеет место при $P_m \leq 1.9 \times 10^5$ Па, можно пользоваться следующими приближенными формулами:

$$\begin{aligned} G_1 &= \mu_1 \cdot \omega_1 \cdot \sqrt{\frac{2}{R \cdot T_m} \cdot P_n \cdot (P_m - P)}, \\ G_2 &= \mu_2 \cdot \omega_2 \cdot \sqrt{\frac{2}{R \cdot T_n} \cdot P \cdot (P - P_a)}, \end{aligned} \quad (1)$$

где: $\omega_1 = \frac{\pi \cdot d_{ж}^2}{4}$, $\omega_2 = \pi \cdot d_c \cdot h$,

$d_{ж}$, d_c - диаметры жиклёра и сопла;

P_m , P , P_a - давление питания, выходное в пневмочемкости и атмосферное;

T_m , T - температура воздуха в пневмосети и пневмочемкости;

μ_1 , μ_2 - коэффициенты расхода жиклёра и сопла;

тания устанавливается редуктором 3 и контролируется манометром *M2*. Давление в междроссельной камере определяется манометром *M1*.

4. Проведение работы.

Вначале выполняется расчет статической характеристики усилителя $P = f(h)$ для заданных значений диаметров сопла и жиклера ($d_c, d_{ж}$) и давления питания P_m . Результаты расчета вносятся в таблицу 1, в которой предусмотрено восемь расчетных точек.

Таблица 1.

$P_m = 0.25 \text{ МПа};$		$d_c = 1.25 \text{ мм};$			$d_{ж} = 1.12 \text{ мм}$		
<i>P</i> (МПа)							
<i>h</i> (мм)							

По результатам расчета строится график функции $P = f(h)$. В формулу (2) вносятся значения абсолютных давлений, т.е. с учетом атмосферного.

Экспериментальное исследование усилителя проводится в следующем порядке:

а) устанавливается сопло и пневмосопротивление (жиклер) заданных диаметров;

б) с помощью микровинта заслонка подводится к соплу и на индикаторе устанавливается "нуль";

в) включается питание и с помощью редуктора устанавливается заданное значение давления питания « P_m »;

г) с манометра *M1* снимается начальное показание давления в междроссельной камере;

д) при постепенном изменении микровинтом величины h снижаются показания индикатора 1 и манометра *M1* и вносятся в таблицу 2.

Таблица 2

$P_m = 0.25 \text{ МПа};$		$d_c = 1.25 \text{ мм};$			$d_{ж} = 1.12 \text{ мм}$		
<i>P</i> (МПа)							
<i>h</i> (мм)							

е) по снятым показаниям на том же графике, где построена теоретическая статическая характеристика, строится экспериментальная; в отчете по лабораторной работе необходимо объяснить причину расхождения теоретической и экспериментальной статических характеристик.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ДРОССЕЛЕЙ.

1. Цель работы.

Целью работы является получение расчетным и экспериментальным путем расходных характеристик пневмодросселей двух типов постоянного пневмосопротивления П2Д.4 и пульсирующего дросселя П-1128, входящих в систему элементов УСЭППА, определение их проводимостей и зависимостей коэффициента расхода от числа Рейнольдса.

2. Общие сведения.

Пневматические дроссели служат для создания сопротивления течению воздуха. Так же, как и величина электрического сопротивления зависит от длины проводника и его сечения, величина пневмосопротивления зависит от длины канала (трубки) и его проходного сечения.

Пневмосопротивления принято классифицировать по характеру течения газа, виду расходной характеристики и функциональному назначению.

По характеру течения газа пневмосопротивления подразделяются на ламинарные, турбулентные и смешанные.

Ламинарные сопротивления выполняются в виде капилляров, т.е. канатов цилиндрической формы с большим отношением длины к диаметру. Потери давления определяется трением в капилляре (потери на входе и выходе из-за их малости пренебрегают). Режим течения газа в них обычно докритический.

Турбулентные сопротивления представляют собой цилиндрические каналы с малым отношением длины к диаметру. Потери давления в них определяются сопротивлениям местного характера, возникающих на входе и выходе. Процесс течения газа в турбулентных сопротивлениях принимается адиабатическим, т.к. из-за малого времени течения газа в канале теплообмен практически отсутствует.

Режим течения газа может быть до- и надкритическим.

В пневмосопротивлениях смешанного типа имеет место оба режима течения - ламинарный и турбулентный. Падение давления определя-

ется как местными потерями, так и потерями на трение по длине канала.

По виду расходной характеристики $G = f(\Delta p)$, определяющей взаимосвязь между массовым расходом воздуха через сопротивления и давлениями до и после него, последние разделяются на линейные и нелинейные.

Для ламинарных сопротивлений, потери давления на которых обусловлены трением воздуха о стенки канала, массовый расход воздуха может быть вычислен по формуле Пуазейля для сжимаемой жидкости:

$$G = \frac{\pi \cdot d^4}{-256 \cdot R \cdot T \cdot \mu \cdot l} (P_1^2 - P_2^2), \quad (1)$$

где:

d, l - диаметр и длина канала;

P_1, P_2 - давление перед сопротивлением и после него;

μ - динамическая вязкость воздуха;

T, R - абсолютная температура воздуха и газовая постоянная.

При малых, перепадах давлений выражение (1) можно привести к виду:

$$G = \frac{\pi \cdot d^4 \cdot \rho}{128 \cdot \mu \cdot l} \cdot (P_1 - P_2), \quad (2)$$

где: $\rho = \frac{P_1 + P_2}{2 \cdot R \cdot T}$ - средняя плотность газа.

Величина $\alpha = \pi \cdot d^4 \cdot \rho / 128 \cdot \mu \cdot l$ при небольших перепадах давлений постоянна и представляет собой проводимость пневмосопротивления. Выражение (2) в этом случае будет иметь вид:

$$G = \alpha \cdot (P_1 - P_2) \quad (3)$$

Величина $\frac{1}{\alpha} = \frac{128 \cdot \mu \cdot l}{\pi \cdot d^4 \cdot \rho}$ будет определять пневматическое сопротивление.

Для турбулентных сопротивлений расходная характеристика определяется выражением

$$G = \mu \cdot f \cdot P_1 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot k}{(k-1) \cdot R \cdot T} \cdot \left(\varepsilon^{\frac{2}{k}} - \varepsilon^{\frac{k+1}{k}} \right)}, \quad (4)$$

где: $\varepsilon = P_1/P_2$, $k=1/41$;

f - проходное сечение.

Так как формулу (4) трудно использовать в практических расчетах, вместо нее применяется упрощенное выражение:

$$G = \mu \cdot f \cdot \sqrt{2 \cdot \rho_1 \cdot (P_1 - P_2)}, \quad (5)$$

где: ρ - плотность газа до сопротивления;

$$\mu = \varphi \cdot \varepsilon, \quad \varphi = 1/\sqrt{1+\xi};$$

ε - коэффициент сжатия струн;

ξ - коэффициент потерь.

Для турбулентных дросселей с достаточной точностью можно принять $\varepsilon=1$, $\xi=0.5$, откуда $\mu = \varphi = 0.815$.

Если истечение газа через турбулентное сопротивление происходит при наибольших перепадах давлений, величину P , можно считать постоянной. При этом вместо (5) будем иметь

$$G = \beta \cdot \sqrt{P_1 - P_2}, \quad (6)$$

где: $\beta = \mu \cdot f \cdot \sqrt{2 \cdot \rho}$

Линейной расходной характеристикой независимо от перепада давлений $P_1 - P_2$ обладает, так называемый пульсирующий дроссель (рис 1, позиция 3). Его основными элементами являются два пневмоконтакта "а", "б" и заключенная между ними емкость V . Под действием постоянных давлений подпорков, подаваемых в камеры "А" и "Д", контакт "б" нормально разомкнут (сопло закрыто), а контакт "а" нормально замкнут (сопло открыто). "В" камеры "Б" и "Е" поступают импульсы от генератора, не входящего в схему стенда, благодаря которым с определенной частотой происходит замыкание и размыкание контактов "а" и "б". При этом емкость V поочередно соединяется с входной и выходной линиями дросселя.

При отсутствии импульса генератора количество газа в ёмкости составляет:

$$m_1 = \rho_1 \cdot V = P_1 \cdot V / R \cdot T,$$

а при наличии импульса

$$m_2 = \rho_2 \cdot V = P_2 \cdot V / R \cdot T.$$

За один такт в выходную линию проходит порция воздуха

$$\Delta m = m_1 - m_2 = V \cdot (P_1 - P_2) / R \cdot T.$$

При «n» замыканиях будем иметь:

$$m = \Delta m \cdot n = V \cdot (P_1 - P_2) \cdot n / R \cdot T.$$

Продифференцировав уравнение по времени, получим

$$\frac{dm}{dt} = G = V \cdot f \cdot (P_1 - P_2) / R \cdot T.$$

где $f = dn/dt$ - частота генератора,

$$\text{или} \quad G = \alpha \cdot (P_1 - P_2), \quad (7)$$

$$\text{где:} \quad \alpha = V \cdot f / R \cdot T \quad (8)$$

В зависимости от функционального назначения пневматические сопротивления разделяет на постоянные, переменные и управляемые.

К последнему типу относят сопротивления, величина которых в процессе работы изменяется автоматически. Примером может служить сопротивление типа «сопло-заслонка»

3. Описание установки

Схема стенда представлена на рис 1. Редуктором 1 устанавливается давление питания стенда $P_m = 1.4 \times 10^5$ Па. Входное давление формируется с помощью задатчика 14 и усилителя мощности. Включающее реле 4, управляемое пневмотумблером 10, служит для подключения выходов исследуемых дросселей 3 или 9 к ротаметру 5.

Давления на входе и выходе дросселей контролируются манометром 7, который подключается к входу или выходу с помощью второго включающего реле 8, управляемого пневмотумблером 11.

Регулируемый дроссель 6 служит для ограничения перепада давлений на исследуемом дросселе, а, следовательно, и для ограничения

расхода воздуха для устранения возможного «зашкаливания» ротаметра.

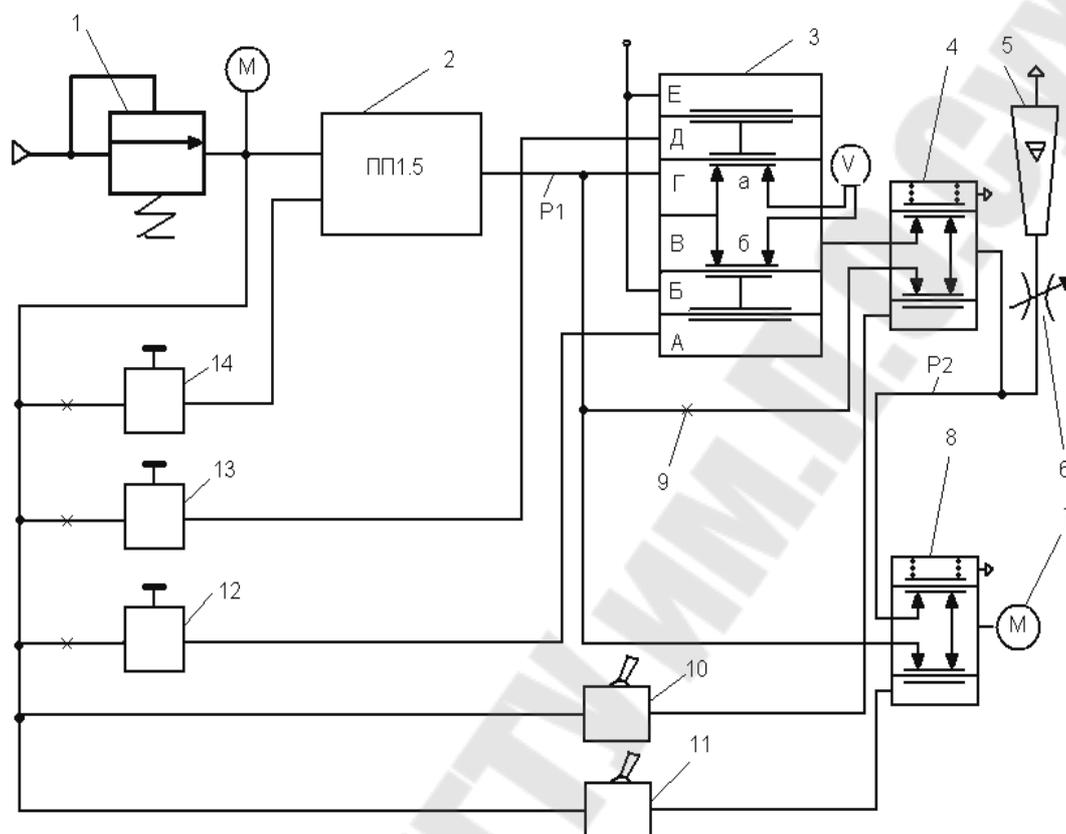


Рис. 1. Схема стенда исследования характеристик пневматических дросселей.

Задатчики 12 и 13 служат для формирования давлений подпора в камерах А и Д пульсирующего дросселя.

4. Порядок проведения работы.

4.1. Исследование постоянного пневмосопротивления.

1. Для испытания постоянного дросселя П2Д.4 тумблер 10 ставится в нижнее положение. При этом включающее реле соединяет выход постоянного дросселя с ротаметром, а выход пульсирующего дросселя закрывает.

2. Задатчиком 14 по манометру 4 устанавливается входное давление $P_1 = 9.8 \times 10^4$ Па, а переменным дросселем 6 перед ротаметром 5 устанавливается давление P_2 , при котором его поплавков показывает

максимальный расход. Начальные значения давлений P1 и P2 и расхода Q заносятся в таблицу I.

3. Далее задатчиком 14 устанавливаются входные давления с интервалом 10 кПа, т.е. 90 кПа, 80 кПа и т.д. и одновременно фиксируется выходное давление P2 и расход воздуха Q.

Все результаты измерений заносятся в таблицу.

4. По известному объемному расходу Q определяется массовый расход G по формуле

$$G = \rho \cdot Q,$$

где $\rho = \frac{P_1 + P_2}{2 \cdot R \cdot T}$, $T = 290^\circ\text{K}$, $R = 288 \text{ Дж/кг}^\circ\text{K}$.

Величину Q следует выразить в (м³/с), P1 и P2 в Па. Тогда G получим в [кг/с].

5. По результатам измерений строится график $G = \varphi(\Delta P)$ где $\Delta P = P_1 - P_2$.

6. По формуле (2) определяется теоретический расход через дроссель G_e и строится график $G_t = \varphi(\Delta P)$.

7. При известном действительном расходе G и теоретическом G_t вычисляется коэффициент расхода $\mu = G / G_t$.

8. Строится график зависимости коэффициента расхода от числа Рейнольдса $\mu = f(Re)$. Кинематическую вязкость воздуха можно принять равной $\nu = 1.45 \times 10^{-5} \text{ м}^2 / \text{с}$.

Все результаты измерений и вычислений заносятся в таблицу 1.

Таблица 1.

№№ пп	P1	P2	ΔP	Q	G	G _t	μ	Re
1.	1.0							
2.	0.9							
3.	0.8							
4.	0.7							
5.	0.6							

6.	0.5							
7.	0.3							
8.	0.2							

4.2. Исследование пульсирующего дросселя.

1. Испытания пульсирующего дросселя производится в той же последовательности, что и постоянного П2.Д4. При этом тумблер 10 ставится в верхнее положение, что позволяет соединить выход пульсирующего дросселя с ротаметром, а выход дросселя П2.Д4 запереть.

2. Импульсы давления, управлявшие работой дросселя, формируются генератором не входящим в схему стенда. Проводимость дросселя согласно (8) можно регулировать изменением емкости V дросселя или частоты генератора f . Частота устанавливается переменным дросселем П2.Д2, предусмотренном в схеме генератора,

3. Результаты расчета и эксперимента заносятся в таблицу 2.

Таблица 2

№№ пп	P1	P2	ΔP	Q	G	f	α	Gт	μ
1.	1.0								
2.	0.9								
3.	0.8								
4.	0.7								
5.	0.6								
6.	0.5								
7.	0.3								
8.	0.2								

4. По результатам расчета и эксперимента строятся графики расходных характеристик $G = \varphi(\Delta P)$ и $G_t = \varphi(\Delta P)$. При испытании пульсирующего дросселя график $\mu = f(Re)$ не рассматривается.

ИСПЫТАНИЕ ГЕНЕРАТОРА ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ИМПУЛЬСОВ.

1. Цель работы.

Целью работы является ознакомление с конструкцией и принципом действия генератора прямоугольных пневмоимпульсов и построение зависимости частоты импульсов от величины открытия дросселя.

2. Описание стенда и общие сведения.

Схема генератора показана на рис.1. Основными элементами являются пневмореле 4 (П1Р.1), включенное по схеме отрицания, емкость 2 (ПОЕ-50) и дроссель 11 (П2Д.2) образующие инерционное звено. Благодаря отрицательной обратной связи, создаваемой цепью инерционного звена, и внутренней положительной обратной связи, имеющейся в реле, последнее вводится в режим автоколебаний. Работа генератора протекает следующим образом. Под действием давления подпора P_n , подаваемого с помощью задатчика 13 в камеру "В" реле 4 при отсутствии давления в камере "Б", блок мембран со штоком опускается вниз, открывая верхнее питающее сопло и закрывая нижнее. Благодаря этому давление на выходе реле становится равным давлению питания ($P_{\text{вых}} = P_{\text{пит}}$) а камера "Б" с емкостью V через дроссель 11 постепенно пополняется воздухом, давление которого нарастает по экспоненциальному закону

$$P_B = P_{\text{вых}} \cdot (1 - e^{-t/T_0}), \quad (1)$$

где: $T_0 = V / \alpha \cdot R \cdot \theta, \quad (2)$

α - проводимость дросселя;

R - газовая постоянная;

θ - температура газа в °К.

Когда давление в камере "Б" достигает значения

$$P_B = P_1 = P_n + \frac{f}{F - f} \cdot P_{\text{пит}}, \quad (3)$$

шток перебросится в верхнее положение, открывая нижнее и закрывая верхнее сопло. Давление на выходе реле упадет до нуля, т.к. ка-

ния подпора в камере "В". Поэтому сигнал входа импульсатора сразу поступает на его выход, и передний фронт выходного импульса совпадает со входным. Тем временем давление в камере "Б" нарастает, и когда оно достигает значения:

$$P_2 = P_n^* + \frac{f}{F-f} P_{\text{ВЫХ}}, \quad (4)$$

мембранный блок переместится вверх и закроет сопло, соединяющее вход и выход импульсатора. Сигнал на его выходе $P_{\text{ВЫХ}}^*$ будет равен

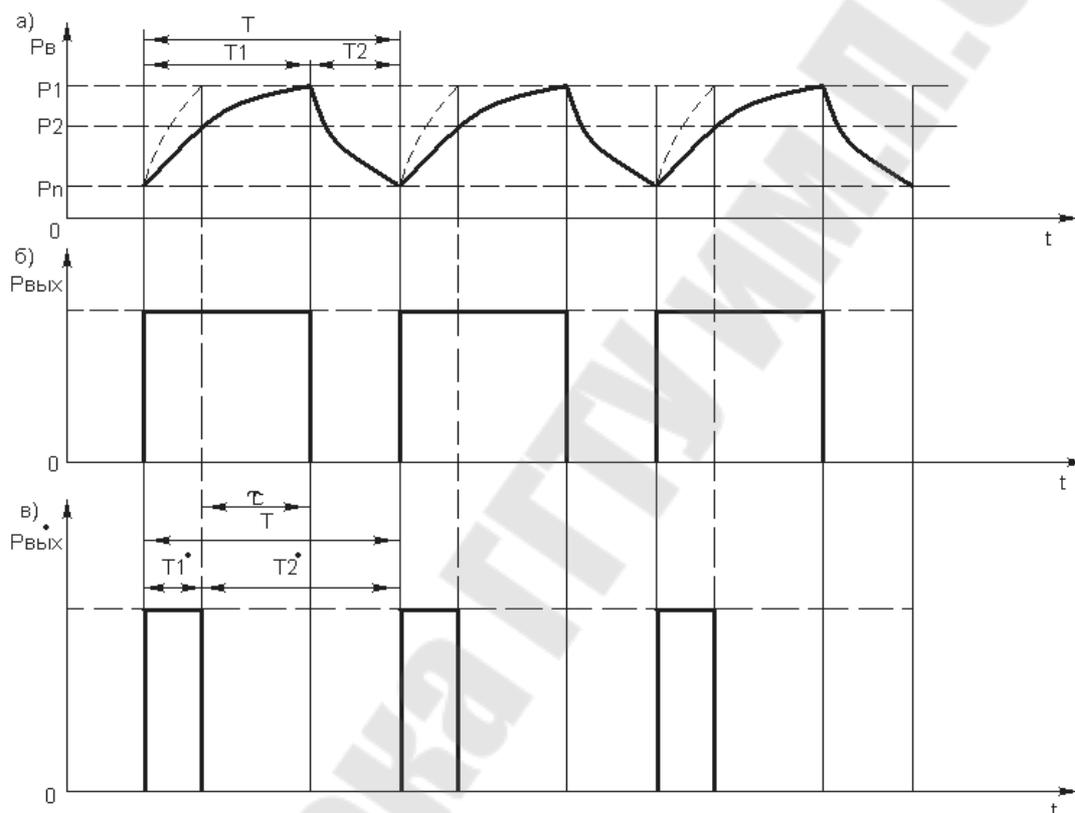


Рис.2. Графики изменения давления в емкости V.

нулю, в то время как сигнал на выходе генератора $P_{\text{ВЫХ}}$ еще будет сохраняться. Таким образом, входной импульс укорачивается импульсатором на некоторую величину " τ ", значение которой зависит от настройки дросселя 10. Если давление подпора в реле импульсатора выбрать равным давлению подпора в реле генератора $P_n^* = P_{\text{ВЫХ}}$ то $P_2 = P_1$, т.е. срабатывание реле генератора и импульсатора будут происходить при одних и тех же давлениях. Благодаря тому, что

проводимость дросселя импульсатора устанавливается больше проводимости дросселя генератора ($\beta > \alpha$), нарастание давления в камере "Б" реле импульсатора будет происходить быстрее (штриховая линия на графике (а) на рис.2). В момент достижения $P_6 = P_1$ давление на выходе импульсатора $P_{\text{вых}} = 0$.

С помощью рассмотренной схемы можно производить независимую настройку как периода колебания (дросселем 11), так и длительности импульса (дросселем 10).

Самопишущий прибор 8 служит для регистрации импульсов на выходе генератора и импульсатора. Выбор того или иного сигнала осуществляется пневмотумблером 12 и включающим реле 7.

Редуктором 1 устанавливается давление питания, контролируемое манометром 3. Задатчик 13 с дросселем 14 служат для формирования давления подпора.

Период повторения импульсов генератора (продолжительность тактов) определяется следующим образом. Согласно графикам на рис. 2 период повторения складывается из продолжительности импульса $T1$ и паузы $T2$, $T = T1 + T2$. В течение времени $T1$ происходит нарастание давления в камере "Б" от P_1 до P_n , а в течение времени $T2$ снижение давления от P_1 до P_n по экспоненциальному закону. Нарастание давления определяется решением дифференциального уравнения

$$T_0 \cdot \frac{dP}{dt} + P = P_{\text{пит}} \quad (5)$$

Если $P(0) = P_n$, снижение давления решением уравнения

$$T_0 \cdot \frac{dP}{dt} + P = 0 \quad (6)$$

при $P(0) = P_1$

В первом случае будем иметь

$$P = P_{\text{пит}} + (P_n - P_{\text{пит}}) \cdot e^{-t/T_0}, \quad (7)$$

а во втором случае

$$P = P_1 \cdot e^{-t/T_0}. \quad (8)$$

При $t = T_1$, $P = P_1$, откуда

$$T_1 = T_0 \cdot \ln \cdot \frac{P_{\text{пит}} - P_{n1}}{P_{\text{пит}} - P_1}, \quad (9)$$

где $P_1 = P_n + \frac{f}{F-f} P_{\text{пит}}$.

При $t = T_2$, $P = P_n$, откуда

$$T_2 = T_0 \cdot \ln \cdot \frac{P_1}{P_n}. \quad (10)$$

Таким образом,

$$T = T_0 \cdot \left(\ln \cdot \frac{P_{\text{пит}} - P_n}{P_{\text{пит}} - P_1} + \ln \cdot \frac{P_1}{P_n} \right). \quad (11)$$

Нетрудно видеть, что длительность укороченного импульса T_1^* может быть определена по формуле

$$T_1^* = T_0^* \cdot \ln \cdot \frac{P_{\text{пит}} - P_n^*}{P_{\text{пит}} - P_2}, \quad (12)$$

где $P_2 = P_n^* + \frac{f}{F-f} P_{\text{пит}}$,

$$T_0^* = V / \beta \cdot R \cdot \tau,$$

β - проводимость дросселя.

Принимая $P_n^* = P_n$, получим $P_1 = P_2$ и, следовательно, будем иметь

$$T_1^* = \frac{T_0^*}{T_0}, \quad T_1 = \frac{\alpha}{\beta} \cdot T_1. \quad (13)$$

Если $P_n^* < P_n$, а $\alpha = \beta$,

то изменения длительности импульса с помощью импульсатора отражены на графиках, приведенных на рис. 2.

На рис. 3 показана структурная схема генератора с импульсатором, показывающая типовые звенья, составляющие исследуемый объект, связи между ними и места приложения сигналов. На схеме хорошо видны контуры отрицательной обратной связи и внутренней положительной обратной связи в генераторе.

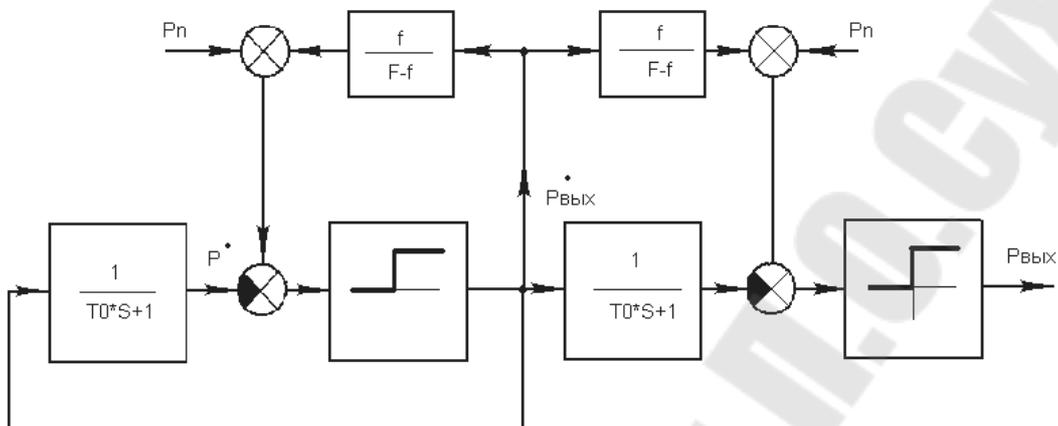


Рис.3. Структурная схема генератора прямоугольных импульсов.

3. Порядок проведения работы.

3.1. Расчет и построение теоретической зависимости частоты генератора от величины открытия дросселя.

Частота генератора находится по формуле $f = 1/T$, где T определяется зависимостью (11). Для расчета необходимо располагать следующими параметрами: постоянной времени апериодического звена T_0 , давлением подпора $P_n = K \cdot P_{пит}$ и характеристикой мембранного блока $\lambda = f / (F - f)$. Значение этого параметра для реле П1Р.1 составляет 0.12.

Величину $K = P_n / P_{пит}$ можно принять $K = 0,3$. Постоянная времени апериодического звена T_0 , определяемая зависимостью (2), находилась экспериментальным путем по графику переходного процесса звена для различных положений головки дросселя. По результатам

опытов построена кривая $T_0 = f(\varphi)$, где φ - угол поворота маховичка дросселя, приведенная на рис.4.

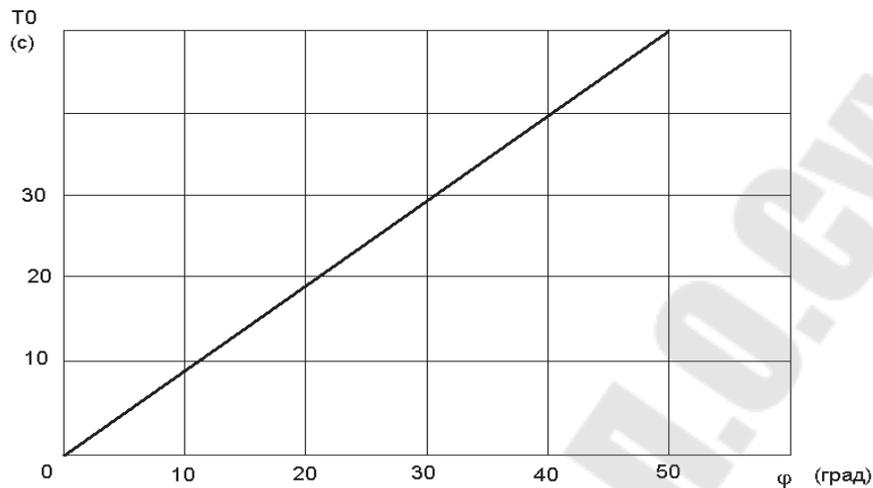


Рис. 4. Зависимость постоянной времени апериодического звена T_0 от угла φ поворота маховичка дросселя

Период импульсов генератора согласно формуле (11) для различных положений маховичка дросселя определится выражением

$$T_i = f(\varphi) \cdot \left(\ln \frac{1-k}{1-k-\lambda} + \ln \frac{k+\lambda}{k} \right) = f(\varphi_i) \cdot \ln \frac{1+\lambda/k}{1-\lambda \cdot (1-k)}. \quad (14)$$

Результаты расчёта по формуле (14) вносятся в таблицу 1.

Таблица 1

№№ пп	Угол Поворота махович- ка дросселя	Постоян- ная времени	Период импуль- сов	Частота	Примеча- ние
	φ , град	T_0 , сек	T , сек	f ,	---
1.					
2.					
3.					
4.					
5.					
6.					

3.2. Получение зависимости частоты генератора от величины открытия дросселя экспериментальным путем.

1. На стенд подаётся питание.

2. Контролируется давление подпора. Значение " К " принимается таким же, как и в теоретическом расчете.

3. Маховичок дросселя 11 устанавливается в первоначальное положение, соответствующее таблице.

4. Тумблер 12 устанавливается в верхнее положение, при этом включающее реле 7 подает на самописец 8 сигнал с выхода генератора.

5. Включается лентопротяжное устройство самописца. По записи на ленте

определяется длительность импульсов и период их повторения.

6. Маховичок дросселя устанавливается в новое положение и снова включается запись процесса.

7. Результаты измерений заносятся в таблицу 2 и используются для построения графика.

Таблица 2.

№№ пп	Угол поворота дросселя, φ, град.	Период повторения импульсов, Т, сек	Частота f, Гц.
1			
2			
3			
4			
5			
6			

8. Теоретический и экспериментальный графики $f=f(\varphi)$ строятся совместно. Следует объяснить причины несовпадения графиков.

3.3. Исследование работы импульсатора

1. Генератор вводится в режим работы с постоянной частотой, равной, например, $f = 1$ Гц.

2. Маховичок дросселя импульсатора последовательно устанавливается в ряд положений. Для каждого положения маховичка выполняется запись сигнала с импульсатора, для чего тумблер 12 переводится в соответствующее положение.

2. Продолжительность импульса на выходе импульсаторов измеряется и сравнивается с расчётным значением, определяемым по формуле (13). Результаты вносятся в таблицу 3.

Таблица 3.

№№ пп	Угол пово- рота маховичка дресселя	Постоянная времени	Продолжительность импульса расчётная	
	φ, град.	T_0^* , сек	T_1^* , сек	T_{19}^* , сек
1				
2				
3				
4				
5				
6				

ИЗУЧЕНИЕ ПОРШНЕВОГО КОМПРЕССОРА.

1. Цель работы.

Целью работы является изучение конструкции поршневого компрессора, его пневматической и электрической схем, а так же краткое ознакомление с теорией этих машин.

2. Описание конструкции компрессора.

Компрессор предназначен для получения сжатого воздуха, давлением до 1,0 МПа поддержания этого давления на установленном уровне. Двухцилиндровый компрессор построен по V-образной схеме. Блок цилиндров, приводной электродвигатель, коробка с электроаппаратурой и элементы пневмосхемы установлены непосредственно на воздухохранильнике - ресивере.

На (рис. 1) показана пневматическая схема компрессора. Асинхронный электродвигатель 1 через клиноременную передачу приводит во вращение коленчатый вал компрессора. При движении поршня вниз воздух через впускной клапан 2, пройдя фильтр 3, поступает в цилиндр. При движении поршня вверх воздух сжимается, а его температура при этом повышается. Сжатый воздух через выпускной клапан 4 поступает сначала в теплообменник 5, где несколько охлаждается, а затем поступает в ресивер 6. Предельное давление в ресивере устанавливается регулировочным винтом предохранительного клапана 7. Если давление воздуха в ресивере превысит настройку пружины, клапан открывается и выпускает избыток воздуха в атмосферу.

Для контроля величины давления в ресивере служит манометр 8. Из ресивера по трубопроводу сжатый воздух поступает в редуктор 9, который предназначен для поддержания постоянного давления воздуха на выходе к потребителю. Предохранительный клапан 10, установленный за редуктором, контролирует давление воздуха на выходе к потребителю. Вентиль 11 служит для подачи воздуха в магистраль. Давление воздуха, поступающего к потребителю, контролируется электроконтактным манометром 12, В случае снижения давления более допустимой величины электроконтактный манометр подает сигнал на включение компрессора. Если давление превысит заданное значение, будет подана команда на его выключение. Электромагнитный клапан 13 служит для выпуска воздуха из ресивера в случае выключения электропитания.

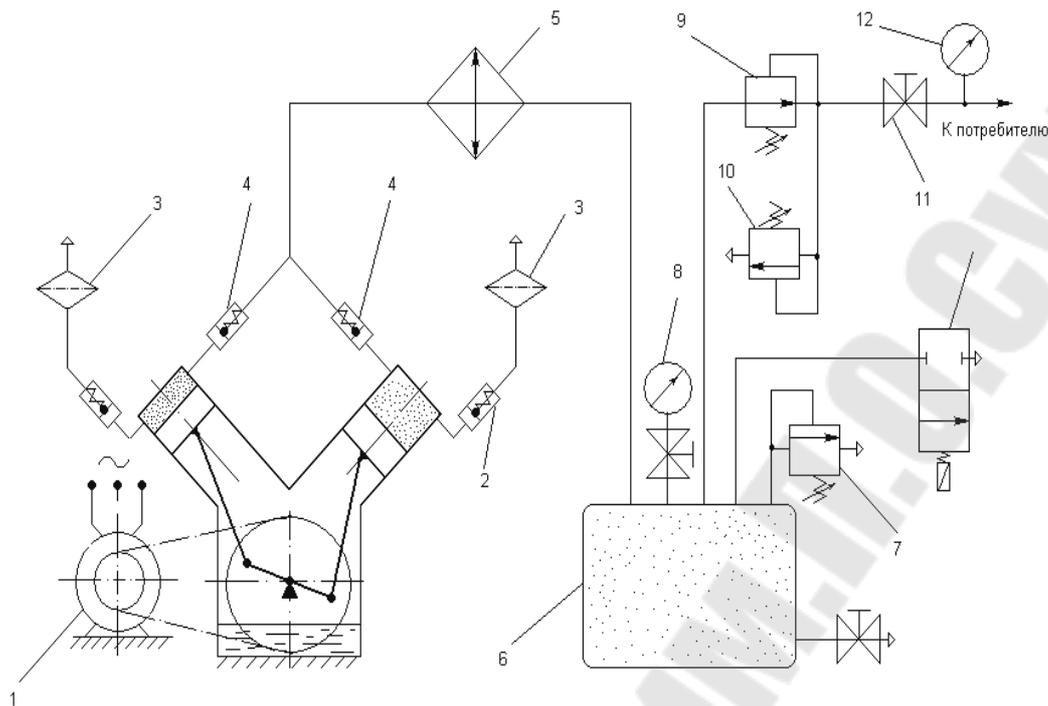


Рис. 1. Пневматическая схема компрессора.

3. Описание схемы управления электроприводом компрессора.

Схема управления, показанная на рис. 2, позволяет установить два режима управления - ручной и автоматический.

Рассмотрим вначале режим ручного управления. Нажатием кнопки автоматического выключателя В1 напряжение подается на клеммы электромагнитного силового реле В5. Для включения электродвигателя компрессора используется поворотный выключатель В3. При замыкании его контактов обмотка силового реле L1 оказывается под напряжением, и реле срабатывает, подключая электродвигатель к сети. Одновременно напряжение подается на электросчетчик времени и катушку электромагнитного клапана L2, который срабатывает, закрывая выход из ресивера в атмосферу. Выключатель В2 служит для включения осветительной лампы Л1.

При работе электропривода в автоматическом режиме выключатель В3

устанавливается в положение выключения, а тумблер В4 - в положение включения. При этом с блока питания, состоящего из трансформатора Тр 1 и выпрямителя, на катушку реле управления Р1 через нормально замкнутый контакт К2.1 реле Р2 и контакты 1 и 2 электроконтактного манометра В6 подается напряжение. Благодаря этому

контакт К1.1 реле Р1 замыкается. Функции контакта К1.1 аналогичны выключателю ВЗ, и электродвигатель компрессора включается. Второй контакт реле К1.2 выполняет блокировку цепи, питающей обмотку реле Р1 в тот период времени, когда подвижный контакт 2, увлекаемый стрелкой манометра В6 в процессе повышения давления на выходе компрессора, размыкается.

Когда давление достигнет верхнего заданного предела, подвижный контакт 2 манометра В6 замыкается с контактом 3. В результате этого через замкнутые контакты К1.2 и К2.1 будет подано напряжение на катушку реле Р2, нормально замкнутый контакт которого К2.1 сразу размыкается. При этом катушки реле Р1 и Р2 обесточиваются, цепь управления электроприводом компрессора ввиду открытия контакта К1.1 размыкается, и двигатель останавливается. По мере расхода воздуха в ресивере давление в нем снижается, и стрелка манометра В6 перемещает подвижный контакт 2 к контакту 1. При их замыкании происходит новое включение двигателя.

4. Краткие сведения из теории поршневых компрессоров.

Рассмотрим работу одноступенчатого поршневого компрессора. На (рис. 3) показаны теоретическая (а), и действительная (б) диаграммы, показывающие зависимость давления газа в цилиндре от объема, замыкаемого поршнем и зависящего от его положения. Кривая 1-2 на диаграмме (а) характеризует процесс сжатия газа при движении поршня. В точке 2 происходит открытие, выпускного канала и, начиная с этого момента до точки происходит подача сжатого газа в ресивер. При обратном ходе поршня на участке 3 - 4 происходит расширение газа, оставшегося в мертвом объеме, от давления Р2 до Р3.

В точке 4 открывается впускной клапан, и начинается всасывание новой порции газа. Далее, начиная с точки 1, процесс повторяется.

Кривая 1 - 2 на графике — политропа, описываемая уравнением

$P \cdot V^n = \text{const}$, где n – показатель, зависящий от ряда факторов (теплообмен с окружающей средой, утечки и т.д.). В расчетах обычно принимают $n = 1,35$. На участке 2-3 процесс изобарический ($P=\text{const}$).

Действительная индикаторная диаграмма несколько отличается от теоретической. Она представляется волнистой линией, имевшей

резкое понижение в момент открытия впускного клапана. Последнее объясняется инерцией и прилипанием клапана к седлу.

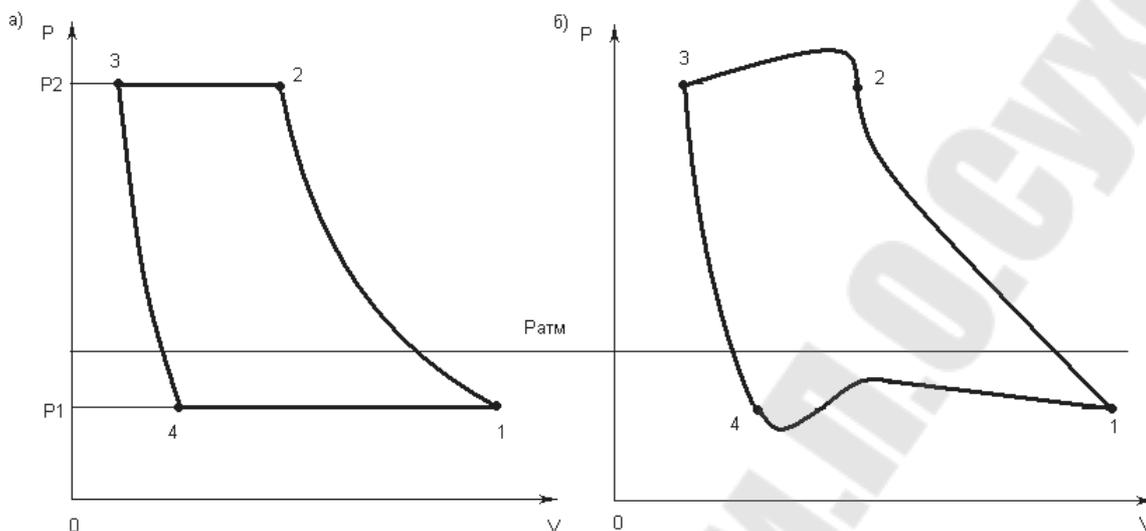


Рис. 3. Индикаторная диаграмма компрессора: а) теоретическая; б) действительная.

Инерция массы газа в напорной трубе компрессора, а также инерция и прилипание выпускного клапана оказывают аналогичное влияние на линию подачи.

Рассмотрим методику определения производительности и мощности компрессора.

Производительностью компрессора называют объем газа, подаваемый им за единицу времени, пересчитанный на состояние газа при входе в компрессор. Производительность является геометрической характеристикой компрессора, не зависящей от давления, температуры и влажности всасываемого газа. Она определяется выражением

$$Q = \lambda \cdot V \cdot n \quad [\text{м}^3 / \text{с}] \quad (1)$$

где: V - рабочий объем цилиндра;
 n - частота вращения коленчатого вала;
 λ - коэффициент подачи.

Для цилиндров одностороннего действия

$$V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot S,$$

где: S - ход поршня;
 D - диаметр поршня.

Коэффициент подачи $\lambda < 1$, и на его величину наибольшее влияние оказывает объем вредного пространства цилиндра. Из других факторов следует отметить сопротивление всасывающих клапанов, утечки через клапаны, поршневые кольца и сальники, подогрев газа при его соприкосновении с горячими стенками цилиндра.

Мощность, которую необходимо передать на коленчатый вал компрессора, определяется формулой

$$N = \frac{N_{\text{пол}} + N_{\text{всп}}}{\eta_{\text{мех}}}, \quad (2)$$

где: $N_{\text{пол}}$ - мощность, затрачиваемая на политропическое сжатие газа;

$N_{\text{всп}}$ - мощность, затрачиваемая вспомогательным оборудованием;

$\eta_{\text{мех}}$ - механический к.п.д.

Мощность политропического сжатия определяется выражением

$$N_{\text{пол}} = \frac{n}{n-1} \cdot P_1 \cdot Q \cdot \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right], \quad (3)$$

где: P_1 и P_2 - начальное и конечное абсолютные давление;

Q - производительность компрессора в $[м^3 / с]$;

n - показатель политропы.

Чтобы судить о совершенстве компрессора, сравнивают фактически затрачиваемую мощность с мощностью при изотермическом сжатии $N_{\text{из}}$ определяемую по формуле

$$N_{\text{из}} = P_1 \cdot Q \cdot \ln \frac{P_2}{P_1}. \quad (4)$$

Отношение $\eta_{\text{из}} = \frac{N_{\text{из}}}{N}$ называют изотермическим к. п. д.

5. Техника безопасности при работе с компрессором.

При эксплуатации компрессора во время проведения лабораторных работ необходимо выполнять ряд требований техники безопасности:

1. Включение и выключение компрессора выполняет только лаборант или преподаватель.
2. Запрещается прикасание к работающему электродвигателю и защитному кожуху ременной передачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ибрагимов И.А. и др. Элементы и схемы пневмоавтоматики. М., "Высшая школа", 1975,
2. Булгаков Б.Б. и др. Пневмоавтоматика. Киев, "Техника", 1977.
3. Автоматические приборы, регуляторы и вычислительные системы. Справочное пособие под ред. Б. Д. Корского. Л., "Машиностроение", 1976.
4. Черкасский В.М. Насосы, вентиляторы, компрессоры. М., "Энергия"¹, 1977.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Лабораторная работа №1. Исследование пневматического усилителя типа "сопло- заслонка"	3
2. Лабораторная работа № 2. Исследование расходных характеристик пневматических дросселей	7
3. Лабораторная работа № 3. Испытание генератора прямоугольных импульсов	14
4. Лабораторная работа № 4. Изучение поршневого компрессора	23
Литература	28

ЭЛЕМЕНТЫ ПНЕВМОСИСТЕМ

**Лабораторный практикум
по курсу «Элементы управления и регулирования
гидропневмосистем»
для студентов специальности 1-36 01 07
«Гидропневмосистемы мобильных
и технологических машин»**

Авторы-составители: **Пинчук** Владимир Владимирович
Полонский Виктор Александрович

Подписано в печать 27.04.06.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.

Цифровая печать. Усл. печ. л. 1,86. Уч. - изд. л. 1,7.

Изд. № 206.

E-mail: ic@gstu.gomel.by

<http://www.gstu.gomel.by>

Отпечатано на МФУ XEROX WorkCentre 35 DADF
с макета оригинала авторского для внутреннего использования.
Учреждение образования «Гомельский государственный технический
университет имени П.О. Сухого».
246746, г. Гомель, пр. Октября, 48, т. 47-71-64.

