

Министерство образования и науки Украины
Севастопольский национальный технический университет



ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ И РАСЧЕТ СИЛЬФОННЫХ ПНЕВМОЭЛЕКТРОКОНТАКТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Методические указания
к расчетно-графическому заданию по дисциплине «Преобразующие
устройства приборов»
для студентов дневной и заочной форм обучения специальности
7.090901 – «Приборы точной механики»

Заказ № _____ от «____» _____ 200____. Тираж _____ экз.

Изд-во СевНТУ

Севастополь
2007

Выбор параметров и расчет сильфонных пневмоэлектроконтактных преобразователей: Методические указания к расчётно-графическому заданию по дисциплине «Преобразующие устройства приборов» /Разраб. В.Я. Копп, А.П. Васютенко, Д.В. Заморёнова, О.В. Филипович. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2007 – 12с.

Целью методических указаний является изучение студентами методик и приобретение практических навыков выбора параметров пневматических измерительных систем и расчёта сильфонных пневмоэлектроконтактных преобразователей.

Методические указания предназначены для студентов дневной и заочной форм обучения специальности 7.090901 - «Приборы точной механики».

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры «Автоматизированные приборные системы» (протокол №8 от 28.02 2007 г.).

Допущено учебно-методическим центром СевНТУ в качестве методических указаний.

Рецензент: Л.А. Глеч, канд. техн. наук, доцент кафедры «Автоматизированные приборные системы».

Продолжение таблицы 5

5	Число электрических контактов	2	4	6	2	4	6	2	4	6	2
6	Цена деления шкалы, мкм	0,5	2	0,5	2	2	1	1	1	0,5	1

5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА О ПРАКТИЧЕСКОМ ЗАДАНИИ

Отчёт должен содержать:

- титульный лист;
- цель работы;
- основные теоретические положения;
- пневматическую схему измерительного устройства для контроля диаметра вала;
- таблицу расчетных данных;
- схему и расчет параметров пневматической измерительной системы для контроля наружного диаметра вала;
- статическую характеристика пневматического преобразователя;
- выводы;
- библиографический список.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Перечислите достоинства и недостатки пневматического метода измерения.
2. Какое влияние оказывает диаметр входного сопла на характер статической характеристики преобразователя?
3. Как определить предел измерения преобразователя?
4. Из какого материала выполнены сильфоны и контакты сильфонного преобразователя?
5. Как определить общее передаточное отношение прибора?
6. Как осуществляется подготовка и стабилизация рабочего давления воздуха?
7. Как производится настройка измерительного устройства?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Педь Е.И. Активный контроль в машиностроении /Е.И. Педь. – М.: Изд-во Машиностроение, 1990.–359с.

2. Высоцкий А.В. Конструирование и наладка пневматических устройств для линейных измерений /А.В. Высоцкий, А.П. Курочкин. – М.: Машиностроение, 1990.–153с.

3. Высоцкий А.В. Пневматические измерения линейных размеров /А.В. Высоцкий. – М.: Машгиз, 1990.–268с.

4. Цидулко Ф.В. Точность пневматического контроля линейных размеров /Ф.В. Цидулко. – М.: Изд-во стандартов, 1990.–156с.

Продолжение таблицы 4

10		55		100	
15		60		120	
20		65		140	
25		70		160	
30		75		180	
35		80		200	
40		85			

По данным таблицы 4 построить статическую характеристику и отметить на ней основные параметры (рисунок 3).

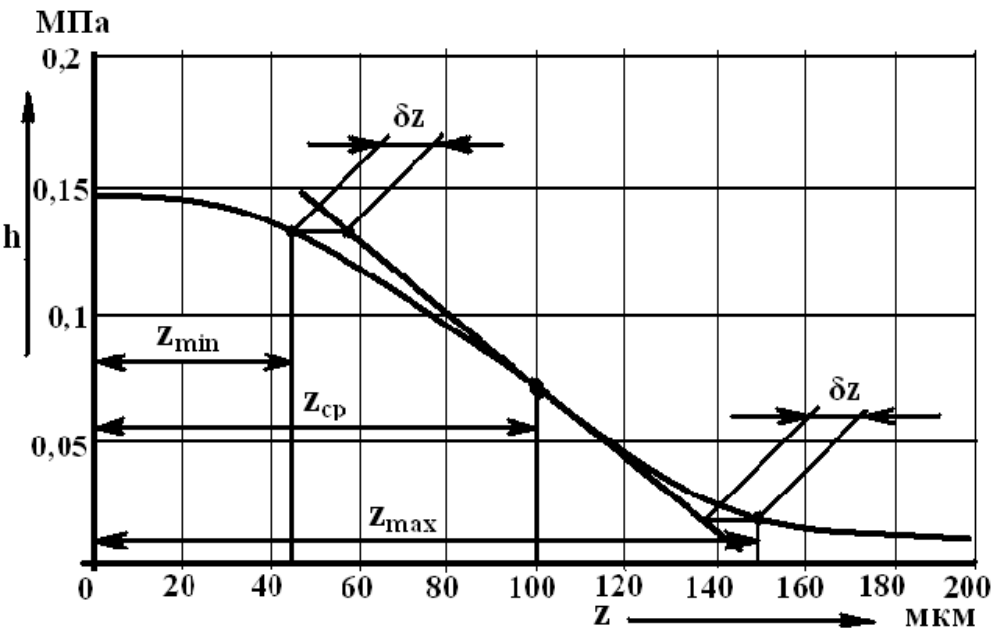


Рисунок 3 – Статическая характеристика пневматического преобразователя

4. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ РАСЧЁТНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ

Разработать схему и провести расчет параметров пневматической измерительной системы для контроля наружного диаметра вала на базе дифференциального сильфонного пневмоэлектроконтактного преобразователя.

Таблица 5 – Варианты заданий

№ пар.	Наименование параметра	№ варианта									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1	Допуск на контролируемый параметр, мкм	10	80	5	60	40	20	10	40	8	20
2	Допускаемая погрешность измерений, мкм	2	4	1	5	4	2	1	8	1	5
3	Число измерительных сопел	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2
4	Нелинейность статической характеристики, %	1	3	1	3	1	3	1	3	1	3

СОДЕРЖАНИЕ

1. Цель работы.....

2. Теоретический раздел.....

3. Порядок выполнения расчётов.....

4. Индивидуальные расчётно-практические задания.....

5. Содержание отчёта о практическом задании.....

6. Контрольные вопросы.....

Библиографический список.....

4

4

6

10

11

11

11

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1.1 Углубленное изучение студентами принципов, методов и средств преобразования сигналов в пневматических измерительных приборах.

1.2 Освоение методик выбора параметров пневматических преобразующих устройств и расчета дифференциальных сильфонных пневмоэлектроконтактных преобразователей для линейных измерений в приборостроении.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Точность и надежность работы машин и механизмов в значительной степени определяется точностью изготовления размеров и форм деталей, качеством их сопряжения. Важная роль в решении этой задачи принадлежит средствам автоматического контроля и управления, которыми в настоящее время оснащается технологическое оборудование. Наряду с электрическими средствами автоматизации в настоящее время всё более широкое применение находят пневматические устройства, приборы и системы. Это связано с их высокой надёжностью, простотой обслуживания, пожаровзрывобезопасностью, невысокой стоимостью.

В пневматических устройствах, предназначенных для измерения малых перемещений линейных размеров используется зависимость между площадью проходного канала F и расходом G сжатого воздуха при постоянном давлении H на входе в систему. На рисунке 1 показана пневматическая схема, согласно которой воздух под постоянным давлением H поступает к входному соплу 1 диаметром d_1 , а затем к измерительному соплу 2 диаметром d_2 . В зависимости от размера контролируемой детали изменяется величина зазора z между измерительным соплом 2 и заслонкой 3.

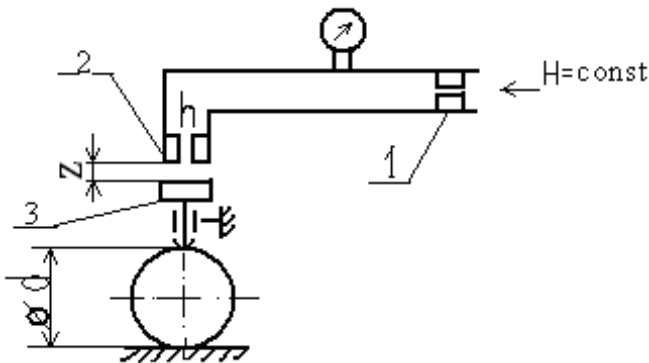


Рисунок 1 – Схема контактного пневматического преобразователя

Входное и измерительное сопла представляют собой пневмосопротивления турбулентного типа, расходная характеристика которых имеет следующий вид

$$G_1 = F_1 \alpha_1 \varepsilon_1 \sqrt{2 \rho_1} \sqrt{H - h}, \tag{1}$$

$$G_1 = F_1 \alpha_1 \varepsilon_1 \sqrt{2 \rho_1} \sqrt{H}, \tag{2}$$

где G_1, G_2 – расход воздуха через входное и измерительное сопла, кг/с;
 F_1, F_2 – площади истечения воздуха через входное и измерительное сопла, m^2
($F_1 = \pi d_1^2 / 4$; $F_2 = \pi d_2^2 / 4$);
 α_1, α_2 – коэффициент расхода воздуха;

$$F_{\Delta} K_Z [\Delta]_{\Pi} = P_K + P_M. \tag{12}$$

Откуда

$$F_{\Delta} = \frac{P_K + P_M}{K_Z [\Delta]_{\Pi}}. \tag{13}$$

Значение F_{Δ} занести в таблицу 5. Коэффициент жесткости сильфона и его пружинного подвеса определим из выражения (9)

$$K = \frac{F_{\Delta} K_Z}{20 \dots 50}. \tag{14}$$

Коэффициент жесткости подвески принимается равным

$$K_{\text{подвески}} = (0,1 \dots 0,2) K_C.$$

Передаточное отношение сильфона определим из выражения (8)

$$K_C = \frac{F_{\Delta \text{ табл.}}}{K}. \tag{15}$$

Передаточное отношение механизма поворота стрелки будет равно

$$K_M = \frac{K_{\Sigma}}{K_Z \cdot K_C}. \tag{16}$$

Рассчитанные значения занести в таблицу 3.

Таблица 3 – Основные параметры сильфонного преобразователя

№ параметра	Наименование параметра	Обозначение
1	Усилие замыкания контактов, Н	P_K
2	Усилие, развиваемое сильфоном, Н	P_C
3	Эффективная площадь сильфона, m^2	F_{Δ}
4	Коэффициент жесткости сильфона и его подвеса, Н/м	K
5	Коэффициент жесткости подвеса, Н/м	K_{Π}
6	Передаточное отношение сильфона, m^3/H	K_C
7	Передаточное отношение механизма поворота стрелки	K_M

Расчет статической характеристики.

Статическую характеристику измерительной системы с достаточной точностью можно описать следующей математической функцией:

$$h = \frac{H}{1 + \left(\frac{4d_2}{d_1^2} \right)^2 z^2}, \tag{17}$$

Вычисленные значения измерительного давления h заносятся в таблицу 4.

Таблица 4 – Расчетные значения

Зазор z , мкм	Давление воздуха h , МПа	Зазор z , мкм.	Давление воздуха h , МПа	Зазор z , мкм.	Давление воздуха h , МПа
0		45		90	
5		50		95	

Расчет параметров сильфонного преобразователя.

Исходными параметрами для расчёта сильфонного преобразователя являются:

- общее передаточное отношение прибора K_{Σ} ,
- передаточное отношение пневматического преобразователя K_z ;
- допускаемая погрешность измерения $[\Delta]$.

Общее передаточное отношение прибора определяется согласно выражению

$$K_{\Sigma} = K_z \cdot K_C \cdot K_M = \frac{I}{C}, \quad (7)$$

где K_C – передаточное отношение сильфона, м³/Н;
 K_M – передаточное отношение механизма стрелки;
 I – интервал деления шкалы (0,8... 1,5 мм);
 C – цена деления шкалы, мм.

Передаточное отношение сильфона зависит от его эффективной площади $F_{\text{э}}$ и коэффициента жесткости K :

$$K_C = \frac{F_{\text{э}}}{K} = \frac{\Delta l}{\Delta h}, \quad (8)$$

где Δl – перемещение сильфона, м;
 Δh – изменение давления воздуха, Н/м²;
 $F_{\text{э}}$ – эффективная площадь, м²;
 K – коэффициент жесткости двух сильфонов и их подвески (пружинного параллелограмма), Н/м.

Произведение $K_z \cdot K_C = 20...50$ представляет собой передаточное отношение прибора на электрические контакты. С учетом последнего можно записать

$$K_C = \frac{20...50}{K_z} = \frac{F_{\text{э}}}{K}. \quad (9)$$

Усилие, развиваемое сильфонами, должно обеспечивать необходимое усилие замыкания электрических контактов P_K и поворот стрелки P_M :

$$P_C \geq P_K + P_M, \quad (10)$$

где $P_K = n \cdot P + \sum \kappa_i \cdot l_i$;
 $P = 0,3H$ – усилие предварительного прижима подвижного нерегулируемого электрического контакта;

n – число контактов;

l_i – величина перемещения i -го контакта, м;

$k_i = 20$ Н/м – коэффициент жесткости i -ой пружины;

$P_M = (0,1...0,2)H$ – усилие поворота стрелки.

Расчет усилия, развиваемого сильфоном P_C , производить с учетом заданного числа контактов. Величина перемещения контакта $l_{i \max} = 5...7$ мм. Расчетные значения P_K и P_C занести в таблицу 5.

Усилие, развиваемое сильфоном, должно удовлетворять погрешности прибора $[\Delta]_{\text{п}}$, величина которой может быть определена исходя из заданной суммарной погрешности измерения $[\Delta]$.

$$P_C = F_{\text{э}} K_z [\Delta]_{\text{п}}, \quad (11)$$

где $[\Delta]_{\text{п}} = (0,2...0,3) \cdot [\Delta]$.

Приравняв значения P_C согласно выражений (10) и (11), получим:

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – коэффициент, учитывающий изменение плотности воздуха при прохождении через пневмосопротивления.

В установившемся режиме течения воздуха расходы G_1 и G_2 равны. При малых перепадах давления воздуха на пневмосопротивлениях можно принять следующие допущения: $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 \approx 1$; $\frac{\alpha_2}{\alpha_1} \approx 1$; $\rho_1 \approx \rho_2$.

Таким образом:

$$\alpha_1 F_1 \sqrt{H - h} = \alpha_2 F_2 \sqrt{h}, \quad (3)$$

$$h = \frac{H}{1 + \left(\frac{\alpha_2}{\alpha_1} \right)^2 \left(\frac{F_2}{F_1} \right)^2} = \frac{H}{1 + \left(\frac{4d_2}{d_1^2} \right)^2 z^2}, \quad (4)$$

где H – избыточное рабочее давление воздуха, поступающего к входному соплу;

d_1 – диаметр входного сопла, мм;

d_2 – диаметр измерительного сопла, мм;

z – зазор между торцом сопла и заслонкой, мм.

На рисунке 2 показана пневматическая схема измерительного устройства для контроля диаметра вала.

Контролируемый вал 1 перемещается по направляющим 2 и проходит между измерительными наконечниками 3 и 4. Наконечники установлены в губках 5 и 6, закреплённых на подвижных каретках 7 и 8. в каретке 7 установлен настроечный винт 9, а в каретке 8 – измерительное сопло 10. каретки 7 и 8 подвешены на прямых плоских пружинах 11 и 12 к неподвижным кареткам 15 и 16. Накладки 17 служат для крепления плоских пружин 11 и 12. Цилиндрические пружины растяжения 13 и 14 создают измерительное усилие. Каретки 15 и 16 посредством кронштейна 18 крепятся на стойке 19.

Сжатый воздух поступает от компрессора под давлением 0,4÷0,6 МПа на вход блока фильтра 20 и регулятора-стабилизатора давления 21. Стабилизатор 21 позволяет регулировать величину давления воздуха H в пределах 0,1÷0,2 МПа. Манометр 22 показывает давление воздуха на входе пневматической измерительной системы. Через входные сопла 23 и 24 воздух поступает в измерительный сильфон 25 и сильфон противодействия 26. Из сильфона 26 воздух выходит в атмосферу через узел противодействия 27, а из сильфона 25 через измерительное сопло 10. В зависимости от диаметра контролируемой детали изменяется величина зазора z между торцом настроечного винта 9 и измерительным соплом 10 и давление воздуха h_H в измерительном сильфоне 25. Разность давлений воздуха в измерительном сильфоне 25 и сильфоне противодействия 26 вызывает перемещение каретки 27, связывающей подвижные концы сильфонов, и замыкание или размыкание электрических контактов 28 и 31, 29 и 30. Регулируемые контакты 30 и 31 настраиваются с учётом положения верхней и нижней границ поля допуска размера контролируемой детали. Контакты 28-31 формируют дискретные электрические сигналы в случае выхода контролируемого размера за пределы поля допуска. Для визуального наблюдения за процессом измерения служит шкальное показывающее устройство 32.

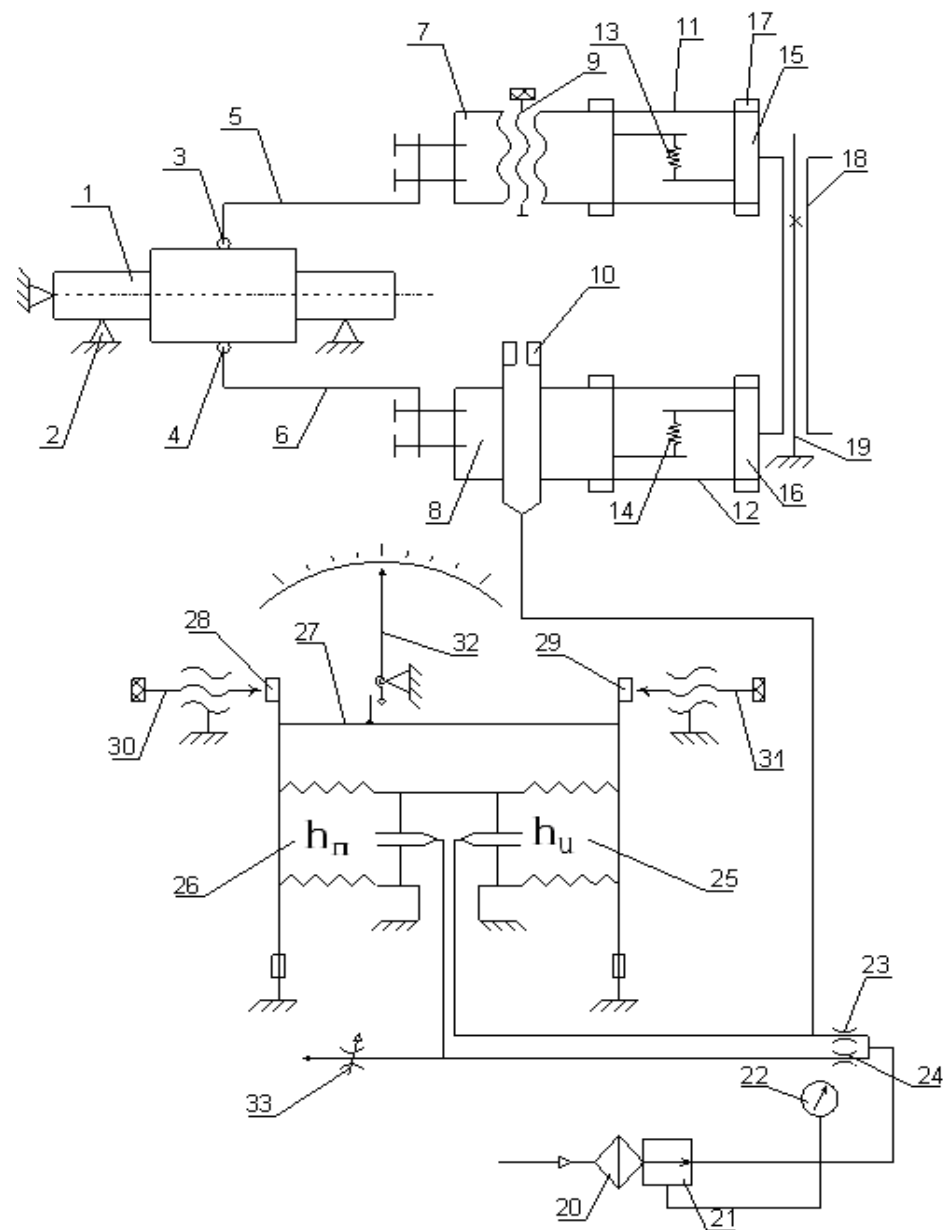


Рисунок 2 – Пневматическая схема измерительного устройства

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЁТОВ

Определение диапазона измерения.

Пределы измерения пневматической измерительной системы Π_Z определяются значениями минимального z_{min} и максимального z_{max} зазоров между торцом сопла и заслонкой на статической характеристике при заданной её нелинейности

$$\Pi_Z = z_{max} - z_{min} = \Delta z. \tag{5}$$

Пределы измерения должны удовлетворять величине допуска на контролируемый параметр и учитывать конструктивные особенности измерительной системы. Величина предела измерения вычисляется по формуле

$$\Pi_Z = \Delta z = T(l + m) + \delta z \cdot n, \tag{6}$$

где T – допуск на контролируемый параметр;
 m – коэффициент, учитывающий расширение предела измерения за границей поля допуска, $m=0,2...0,6$;
 $\delta z=2...10\text{мкм}$ – погрешность установки зазора z , $\delta z=2...10\text{мкм}$;
 n – число измерительных сопел.

Выбор параметров пневматической системы.

Основными параметрами пневматической системы являются рабочее давление воздуха H ; диаметр измерительного сопла d_2 и входного d_1 ; пневматическое передаточное отношение K_Z . Значения указанных параметров выбираются из таблиц 1 и 3, исходя из рассчитанного значения предела измерения $\Pi_Z(\Delta z)$ и нелинейности статической характеристики. Выбранные параметры необходимо свести в таблицу 2.

Таблица 1 – Параметры пневматического преобразователя типа сопло-заслонка

Диаметр измерительного сопла d_2 , мм	Диаметр входного сопла d_1 , мм	Параметры			
		Рабочее давление H , МПа	Прямолинейный участок характеристики Δz , мм	Измерительный зазор в середине прямолинейного участка z_{cp} , мм	Пневматическое передаточное отношение K_Z , 10^5Па/мм
2,0	0,6	0,05	0,020	0,040	8,2
		0,1	0,024	0,042	13,9
		0,15	0,040	0,050	19,9
		0,2	0,044	0,052	21,0
	0,7	0,05	0,024	0,042	6,6
		0,1	0,044	0,052	10,1
		0,15	0,046	0,067	12,1
		0,2	0,050	0,070	15,1
	0,8	0,05	0,040	0,050	4,3
		0,1	0,046	0,073	7,0
		0,15	0,050	0,095	9,5
		0,2	0,060	0,090	11,6
	1,0	0,05	0,080	0,090	2,2
		0,1	0,080	0,120	4,3
		0,15	0,090	0,145	5,9
		0,2	0,100	0,150	7,4
	1,2	0,05	0,080	0,120	1,5
		0,10	0,104	0,162	2,6
		0,15	0,110	0,215	3,8
		0,2	0,120	0,230	4,7
	1,5	0,05	0,100	0,215	0,7
		0,1	0,110	0,220	1,4
		0,15	0,130	0,245	2,0
		0,2	0,170	0,275	2,6

Таблица 2 – Параметры пневмосистемы

№ параметра	Наименование параметра	Обозначение
1	Прямолинейный участок характеристики, мм	$\Delta z...$
2	Нелинейность характеристики, %	
3	Диаметр входного сопла, мм	$d_1...$
4	Рабочее давление, МПа	$H...$
5	Пневматическое передаточное отношение, Па/мкм	$K_Z...$
6	Диаметр измерительного сопла, мм	$d_2...$