

Министерство образования и науки Российской Федерации

Российский государственный университет

нефти и газа им. И.М.Губкина

Кафедра информационно-измерительных систем

Ю.А. Дадаян

**Методическое пособие к выполнению курсового проекта
“Датчик давления”**

Для студентов специальности 12.03.01 “Информационно-измерительная
техника и технологии”.

Москва, 2015 г

<u>Оглавление</u>	стр.
1. Основные понятия и определения.....	3
2. Чувствительные элементы датчиков давления.....	5
3. Емкостные датчики давления с тонкой деформируемой диафрагмой (мембраной). Расчет конструктивных параметров датчика.....	9
4. Измерительные схемы емкостных преобразователей.....	17
5. Особенности емкостных датчиков давления.....	21
6. Содержание пояснительной записки. Варианты задания.....	24
7. Литература.....	28

1. Основные понятия и определения

В практике измерений давление газов и жидкостей, как и температура, занимает важное место. Современная измерительная техника обеспечивает достаточно большой диапазон измерений давлений – от вакуума (10^{-7} Н/м^2) до сверхвысоких давлений (10^{10} Н/м^2).

Все методы измерений давления можно свести к двум группам.

К первой группе относятся методы, использующие действие давления на эффективную площадь.

Ко второй группе относятся методы, использующие различные физические свойства самой исследуемой среды и их изменение с изменением давления.

Кинетическая теория газов утверждает, что давление является мерой полной кинетической энергии молекул:

$$P = \frac{2}{3} \cdot \frac{K \cdot E}{V} = \frac{1}{3} \cdot \rho \cdot c^2 = N \cdot R \cdot T, \quad (1),$$

где $K \cdot E$ - кинетическая энергия;

V - объем;

c^2 - среднее значение квадрата скорости молекул;

ρ - плотность;

N - число молекул в единице объема;

R - универсальная газовая постоянная;

T - абсолютная температура;

В уравнении (1) предполагается, что давление и плотность газов связаны линейной зависимостью, т.е. увеличение давления приводит к пропорциональному росту плотности. Например, при температуре 0°C и давлении 1 атм плотность воздуха составляет $1,3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, в то время как при той же температуре, но давлении 50 атм его плотность уже будет $65 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, т.е. в 50 раз больше.

В отличие от газов плотность жидкостей мало меняется в широком диапазоне давлений и температур. Например, для воды при температуре 0°C

и давлении 1 атм плотность составляет $1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, в то время как при той же температуре и давлении 50 атм – плотность равна $1002 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, а при температуре 100°C и давлении 1 атм – плотность равна $958 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Избыточное давление – это давление газа, превышающее давление окружающей среды. В противоположном случае – речь идет о вакууме. Давление называется относительным, когда его измеряют относительно давления окружающей среды, и абсолютным – когда его измеряют по отношению к нулевому давлению. Давление среды может быть стационарным, когда жидкая среда находится в покое, или динамическим, когда оно относится к жидкостям в движении.

В системе СИ единицей измерения давления является *паскаль*: $1 \text{ Па} = 1 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$. Это значит, что давление 1 паскаль равно силе, равномерно распределенной по поверхности площадью 1 квадратный метр. Иногда в качестве технической единицы измерения давления применяется единица, называемая *атмосфера*, обозначаемая 1 атм. Одна атмосфера – это давление, которое оказывает столб воды высотой 1 метр на площадку 1 квадратный сантиметр при температуре $+4^\circ\text{C}$ и нормальном гравитационном ускорении. Между единицами давления существует следующая взаимосвязь:

$$1 \text{ Па} = 1.45 \times 10^{-4} \text{ фунт} - \text{сила} / \text{дюйм}^2 = 9.869 \times 10^{-6} \text{ атм} = 7.5 \times 10^{-4} \text{ см рт столба}$$

Для грубых оценок можно запомнить еще одно соотношение: 0.1 мм H_2O создает давление, приблизительно равное 1 Па. В промышленности применяется другая единица давления, называемая *торр* (это название дано в честь физика Торричелли), которая определяется как давление, создаваемое столбиком ртути высотой 1 мм при 0°C , нормальном атмосферном давлении и нормальной гравитации. Идеальное давление атмосферы Земли, равное 760 торр, называется *технической атмосферой*:

$$1 \text{ атм} = 760 \text{ торр} = 101.325 \text{ Па}$$

В системе единиц США давление измеряется в фунтах – силы на квадратный дюйм. Эта система там обозначается как psi. Для перевода psi в единицы системы СИ можно воспользоваться соотношением:

$$1 \text{ psi} = 6.89 \times 10^3 \text{ Па} = 0.0703 \text{ атм.}$$

Принцип действия любого датчика давления заключается в преобразовании давления, испытываемого чувствительным элементом, в электрический сигнал. В конструкцию практически всех преобразователей давления входят сенсоры, обладающие известной площадью поверхности, чья деформация или перемещение, возникающие вследствие действия давления, и определяются в процессе измерений. Таким образом, многие датчики давления реализуются на основе детекторов перемещения или силы, причиной возникновения которой является тоже перемещение.

2. Чувствительные элементы датчиков давления

Преобразователи для измерения давления работают на известном механическом принципе, связанном с применением упругого узла из материала, который деформируется под действием измеряемого давления. Измерение перемещения упругого элемента позволяет определить давление.

Упругие элементы, воспринимающие измеряемое давление, представлены на рис. 1.

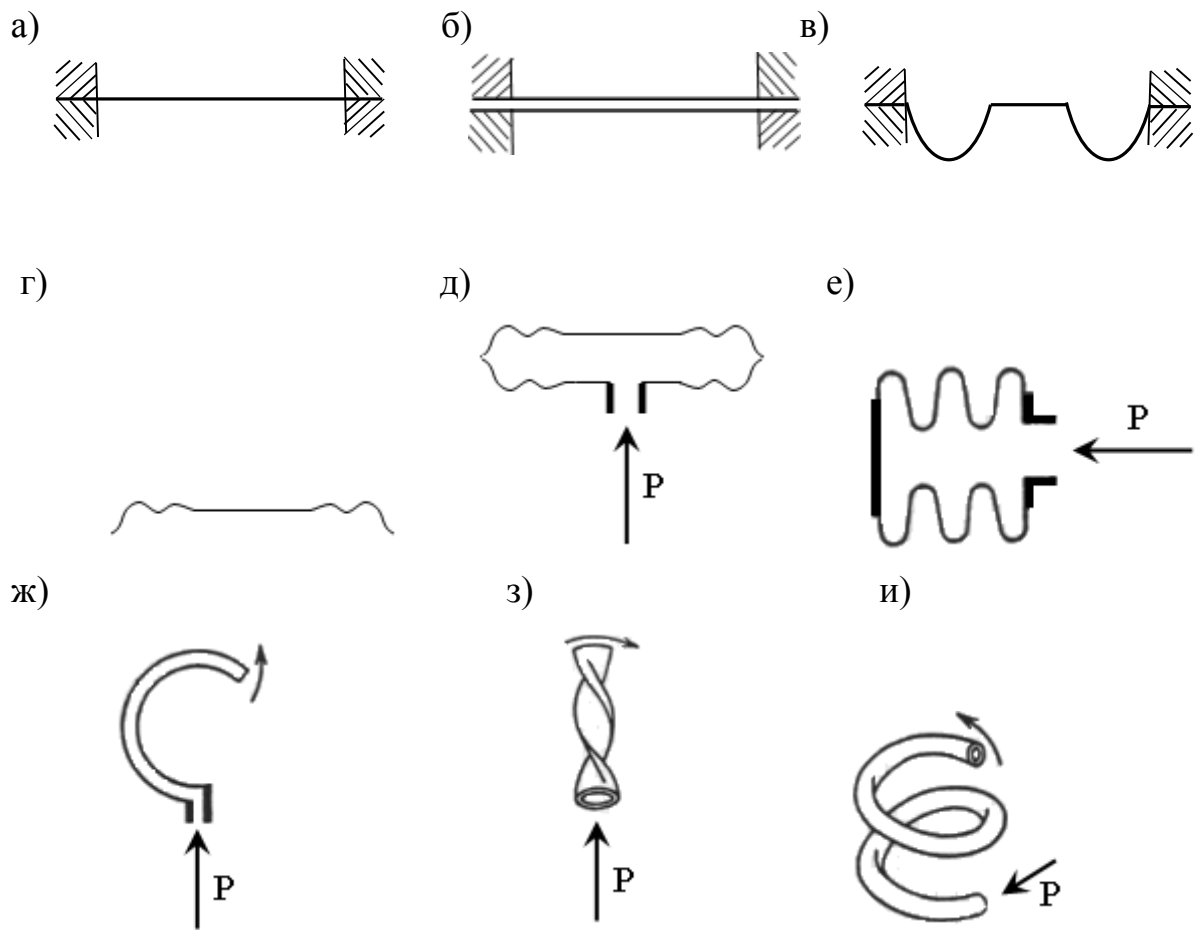
В большинстве современных датчиков в качестве чувствительного элемента используются круглые плоские диафрагмы (или мембраны), жестко закрепленные по периметру (рис.2).

Мембраной называют тонкую диафрагму, которая под действием давления с одной стороны деформируется, принимая сферическое очертание. При небольших давлениях перемещение центра $\Delta\delta_{\max}$ мембраны и механическое напряжение δ_{\max} являются достаточно линейными функциями давления. Крепление мембраны к корпусу датчика осуществляется разными методами.

Таблица соотношения между единицами измерения давления

Обозначение единиц измерения								
Международное	русское	кРа	bar	kgf/cm ²	mmH ₂ O	mmHg	psi	atm
кРа	кПа	1	10 ⁻²	1,01972 · 10 ⁻²	1,01972 · 10 ²	7,50062	14,5038 · 10 ²	0,98692 · 10 ²
bar	бар	10 ²	1	1,01972	1,01972 · 10 ⁴	7,50062 · 10 ²	14,5038	0,98692
kgf/cm ²	кгс/см ²	0,980665 · 10 ²	0,980665	1	10 ⁴	7,35559 · 10 ²	14,2233	0,96784
mmH ₂ O (при t=4°C)	мм вод. ст. (при t=4°C)	0,980665 · 10 ⁻²	0,980665 · 10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	1	7,35559 · 10 ⁻²	14,2233 · 10 ⁻³	9,67841 · 10 ⁻⁵
mmHg	мм рт.ст.	0,133322	0,133322 · 10 ⁻³	1,35951 · 10 ⁻³	13,5951	1	1,93368 · 10 ⁻²	1,31579 · 10 ⁻³
psi	фунт-сила кв.дюйм	6,89476	6,89476 · 10 ⁻²	7,0307 · 10 ⁻²	7,0307 · 10 ²	51,7149	1	6,8046 · 10 ⁻²
atm	атм	1	1,01325	1,0332	1,03508 · 10 ⁴	760	14,6959	1

Рис.1



- а) – мембрана;
- б) – тонкая пластина;
- в) – глубоко гофрированная диафрагма;
- г) – мембранная коробка;
- е) – сифон;
- ж) – С-образная трубка;
- з) – винтовая трубка Бурдона;
- и) – спиральная трубка.

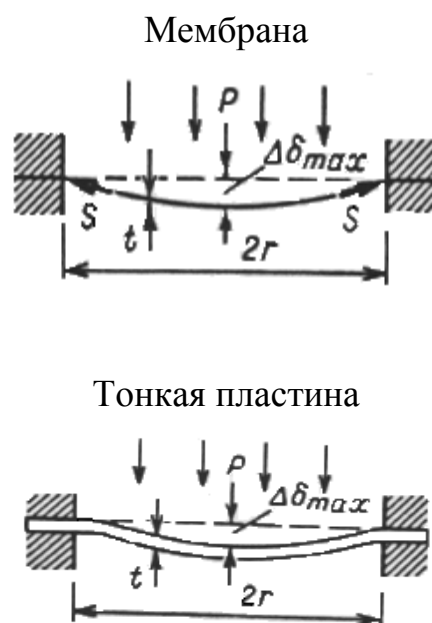


Рис.2

На рис.3 изображены два типа плоских диафрагм, обычно используемых в измерительных преобразователях.



Рис.3

- а) - “зажатая” диафрагма;
- б) – диафрагма, изготовленная заодно из сплошного куска материала.

Диафрагма рис.3,а представляет собой плоскую круглую пластину, защемленную двумя кольцами. Хотя эта конструкция и проста, она обладает гистерезисом из-за сухого трения между деформируемой диафрагмой и зажимающими кольцами. Конструкция рис. 3,б изготавливается из целого куска металла.

Такая диафрагма имеет обычно малый гистерезис, но значительно сложнее в изготовлении. Отношение диаметра пластины к толщине порядка 100 является практическим пределом при изготовлении.

Плоская мембрана незаменима в случаях, когда датчик переменных давлений во избежание возмущения потока должен быть установлен заподлицо со стенкой газового канала. По сравнению с другими видами

мембран преимущество плоских мембран состоит также в том, что частота их собственных колебаний может быть сделана достаточно высокой при чувствительности, допускающей использование для измерения прогиба мембраны распространенных измерительных средств. Недостатком плоских мембран является чувствительность к ускорениям и изменениям температуры. Для борьбы с вредным влиянием применяются различные конструктивные меры, усложняющие устройство датчика давления.

Гофрированные мембраны используются тогда, когда малые перемещения плоских мембран недостаточны. Общепринятым считается, что допустимое перемещение гофрированной мембраны не должно превышать 2% от ее диаметра. Большая эластичность гофрированных мембран по сравнению с плоскими мембранами делает их более восприимчивыми к вибрациям и ускорениям, в связи с чем они могут быть работоспособными только в стационарных условиях.

Гофрированные мембраны используются для измерения давлений до $240 \cdot 10^4 \frac{H}{м^2}$. В общем случае податливость гофрированной мембраны увеличивается с ростом числа гофров и уменьшается с увеличением их глубины.

Выходная характеристика гофрированной мембраны более линейна, чем такая же характеристика плоской мембраны.

Для изготовления гофрированных мембран обычно используются бронза, фосфористая бронза, нейзильбер, бериллиевая бронза и нержавеющая сталь.

Трубка Бурдона. Основным преимуществом трубок Бурдона является возможность получения от них еще больших перемещений, чем от гофрированных мембран. Наибольшее применение имели С-образные трубки Бурдона с диаметром по линии изгиба 50,8 мм (рис. 1,ж). Эти трубки позволяют получить полезное перемещение около 3 мм, в связи с чем их применение чаще всего более предпочтительно в приборах прямого преобразования давления в перемещение показывающей стрелки.

Трубка винтового типа (рис.1,з) при воздействии давления внутри испытывает деформацию «раскручивания», т.е. конец трубки при этом вращается.

Несмотря на то, что жесткость трубок винтового типа больше, чем жесткость спиральных и С-образных трубок, они снабжаются

дополнительными упругими элементами на свободном конце с целью уменьшения чувствительности к вибрациям. С-образные трубки применяются для измерения давлений от $3.5 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2$ до $10 \cdot 10^7 \text{ Н/м}^2$.

Следует иметь в виду, что трубки Бурдона большего размера обладают лучшей точностью, трубки с диаметром по линии изгиба около 50мм имеют погрешность гистерезиса порядка 1-2% на верхнем пределе измерения.

Сильфоны (рис.1,е). В измерительных преобразователях металлические сильфоны чаще используются не как элементы, чувствительные к давлению, а как нежесткие разделители сред для передачи давления. Это объясняется тем, что стабильность нуля и жесткость сильфонов значительно ниже, чем те же параметры у других упругих элементов.

3. Емкостные датчики давления с тонкой деформируемой диафрагмой (мембраной).

Расчет конструктивных параметров датчика.

Датчики давления мембранного типа конструируются таким образом, что подвижная мембрана является средним электродом дифференциального емкостного преобразователя (рис.4). При этом изменения электрической емкости будет происходить при изменении расстояния между электродами. Диэлектриком может быть воздух между пластинами.

Номинальная емкость конденсатора, образованная мембраной и неподвижным электродом 3 или 4 при $\Delta p = 0$, равна

$$C = \frac{\varepsilon_0 \cdot S_{эл}}{W} \quad (2),$$

где ε_0 – диэлектрическая постоянная воздуха, равная $8.85 \cdot 10^{-2} \frac{\text{нФ}}{\text{см}}$;

$S_{эл}$ – площадь электродов;

$$S_{эл} = \pi \cdot R_C^2$$

W – начальный зазор между мембраной и электродом.

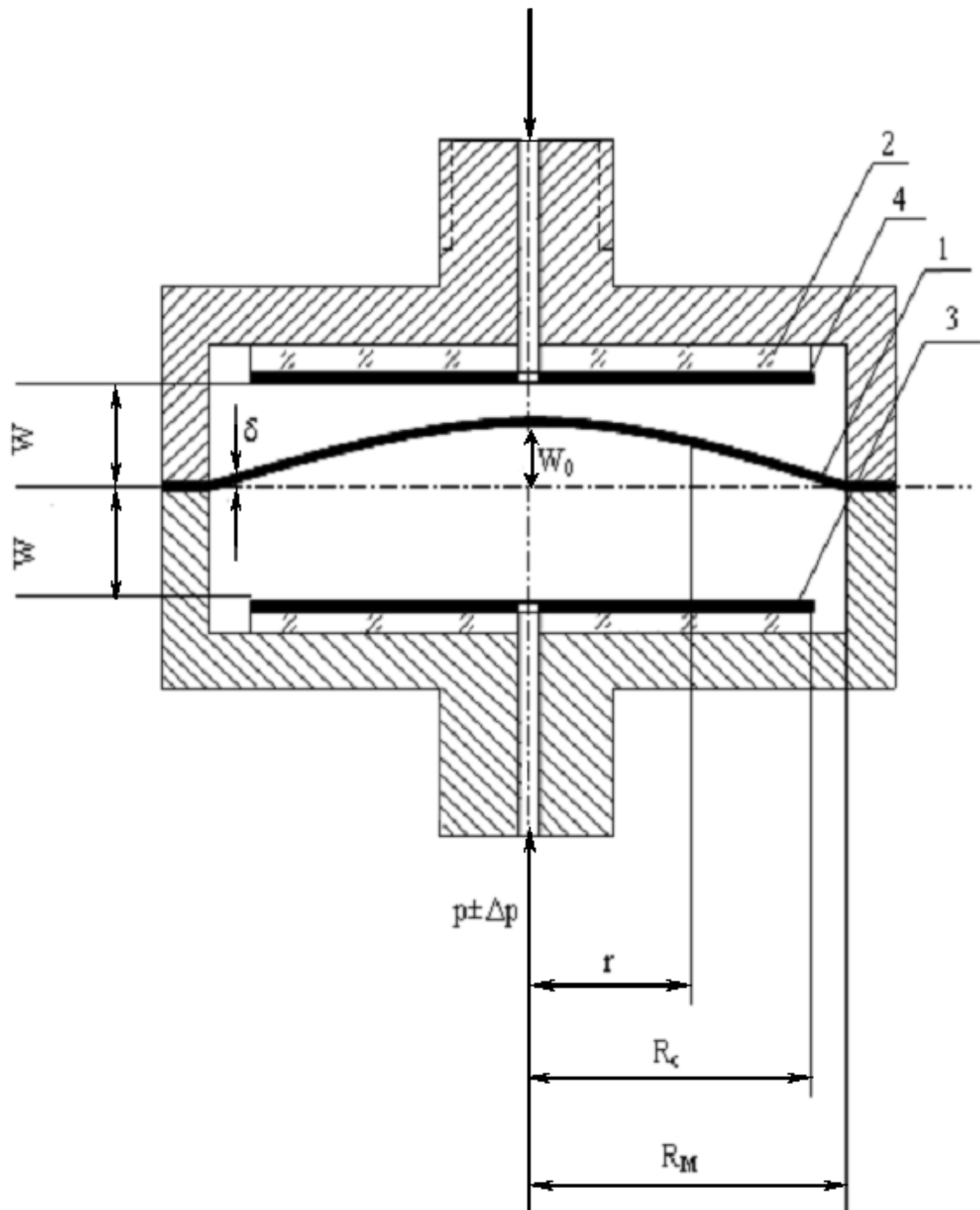


Рис.4

1 – мембрана;

2 – изолятор;

3,4 – электроды.

R_M – радиус периферии мембраны;

R_C – радиус электрода;

r – радиус мембраны;

Δp – разность давлений, действующих на мембрану;

W – начальный зазор между электродом и мембраной;

W_0 – прогиб в центре мембраны.

Если $S_{эл}$ и W выражены в сантиметрах, то

$$C = 8.85 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{S_{эл}}{W}, \text{ нФ} \quad (3)$$

Чувствительность емкостного датчика по перемещению подвижного электрода (мембраны) определяется так:

$$S_{дат} = \frac{\partial C}{\partial W} = -\frac{\epsilon_0 \cdot S_{эл}}{W^2} \quad (4)$$

Увеличение чувствительности достигается уменьшением начального зазора между электродами и увеличением размеров датчика.

Как видно из рис.5, под действием измеряемого давления мембрана получает переменный прогиб. Наибольшее перемещение имеет центр мембраны, а наименьшее – периферия мембраны.

Уравнение, выражающее зависимость хода центра мембраны W_0 под действием равномерного нагружения избыточным давлением P (Δp), имеет вид:

$$W_0 = \frac{3 \cdot (1 - \mu^2) \cdot R_M^4}{16 \cdot E \cdot \delta^3} \cdot \Delta p \quad (5),$$

где E – модуль Юнга, $\frac{\text{кг} \cdot \text{с}}{\text{см}^2}$;

μ – коэффициент Пуассона;

δ – толщина мембраны, см.

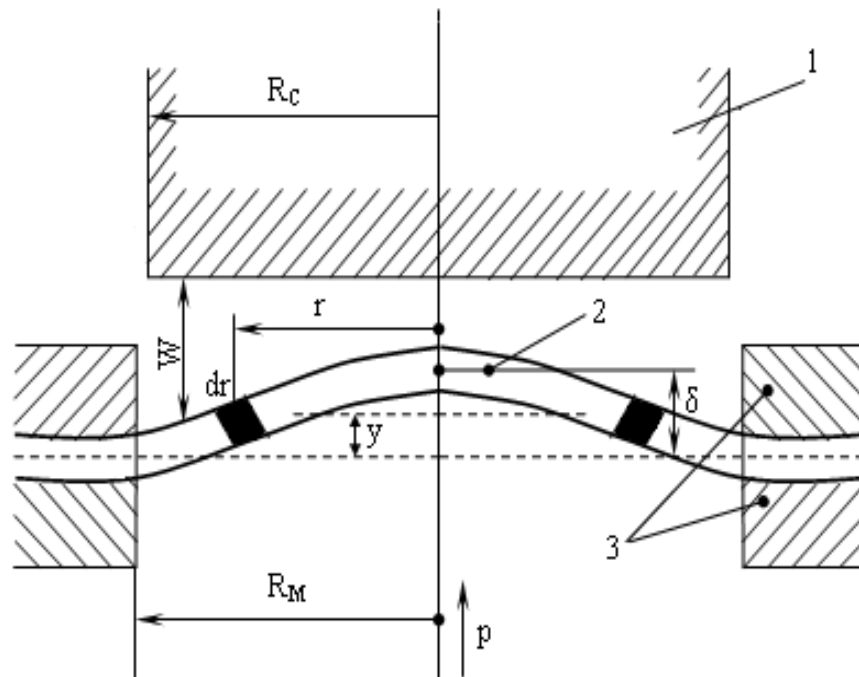


Рис.5

- 1 – неподвижный электрод;
- 2 – диафрагма;
- 3 – держатель.

Для мембраны из стали $\mu=0,3$, $E=2,2 \cdot 10^6 \frac{\text{кг} \cdot \text{с}}{\text{см}^2}$.

Отклонение y для любого радиуса r заземленной мембраны определяется уравнением:

$$y = \frac{3 \cdot (1 - \mu^2) \cdot (R_M^2 - r^2)^2}{16 \cdot E \cdot \delta^3} \cdot \Delta p \quad (6)$$

Для узкой кольцеобразной зоны на мембране шириной dr и длиной $2\pi r$, первоначально располагавшейся на расстоянии W от неподвижной пластины, приращение электрической емкости:

$$\Delta C = \frac{E \cdot S}{W - y} = \frac{E 2\pi r dr}{W - y} = 2\pi E \frac{r dr}{W - y} \quad (7)$$

Для малых отклонений величину $\frac{1}{W - y}$ можно аппроксимировать как:

$$\frac{1}{W - y} = \frac{1}{W} \cdot \left(1 + \frac{y}{W}\right) \quad (8)$$

для $\frac{y}{W} \ll 1$

В этом случае полная емкость отклоняемой мембраны при начальной емкости C плюс приращение емкости ΔC равно:

$$C + \Delta C = \frac{2\pi E}{W} \int_0^{R_M} \left(1 + \frac{y}{W}\right) r dr \quad (9)$$

Подставляя значение y (формула 6) в (9), получим приращение емкости:

$$\Delta C = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{E \cdot (1 - \mu^2) \cdot R_M^6}{E \cdot W^2 \cdot \delta^3} \cdot \Delta p \quad (10)$$

а относительное изменение емкости:

$$\frac{\Delta C}{C} = \frac{(1 - \mu^2) \cdot R_M^4}{16 \cdot E \cdot W \cdot \delta^3} \cdot \Delta p \quad (11)$$

Если сравнить вымышленную чувствительность, подсчитанную в предположении движения диафрагмы как поршня на величину W_0 , т.е. на максимальную величину отклонения центра, т.о. действительная чувствительность будет составлять лишь $\frac{1}{3}$ от этой фиктивной чувствительности.

Для практических расчетов удобно выражать чувствительность емкостного датчика давления отношением относительного приращения емкости к давлению, вызвавшему это приращение:

$$S_{\text{дат}} = \frac{\frac{\Delta C}{C}}{\Delta p} = \frac{\delta C}{\Delta p} = \frac{\delta C}{\delta W} \cdot \frac{\delta W}{\Delta p} = S_1 \cdot S_2, \quad (12)$$

где

S_1 - коэффициент тензочувствительности датчика;

S_2 - коэффициент упругой чувствительности датчика;

Для малых δW имеет место линейное приближение:

$$S_1 = \frac{\delta C}{\delta W} \approx \frac{1}{3} \cdot [\beta^2 \cdot (\beta^2 - 3) + 3], \quad (13)$$

где $\beta = \frac{R_c}{R_m}$ (отношение радиуса электрода к радиусу мембраны)

Конструктивный параметр β изменяется в пределах:

$$0 \leq \beta \leq 1$$

При этом коэффициент тензочувствительности изменяется в пределах:

$$\frac{1}{3} \leq S_1 \leq 1$$

С учетом паразитных присоединительных емкостей кабеля C_k коэффициент S_1 получает вид:

$$S_1 = \frac{\beta^2}{3} \cdot \frac{\beta^2 \cdot (\beta^2 - 3) + 3}{\beta^2 + a}, \quad (14)$$

где $a = \frac{C_k}{C}$; C - емкость датчика при $\beta=1$.

В реальном датчике ($a>0$) коэффициент S_1 никогда не достигает единицы. Для каждого a существует оптимальное значение β (рис.6)

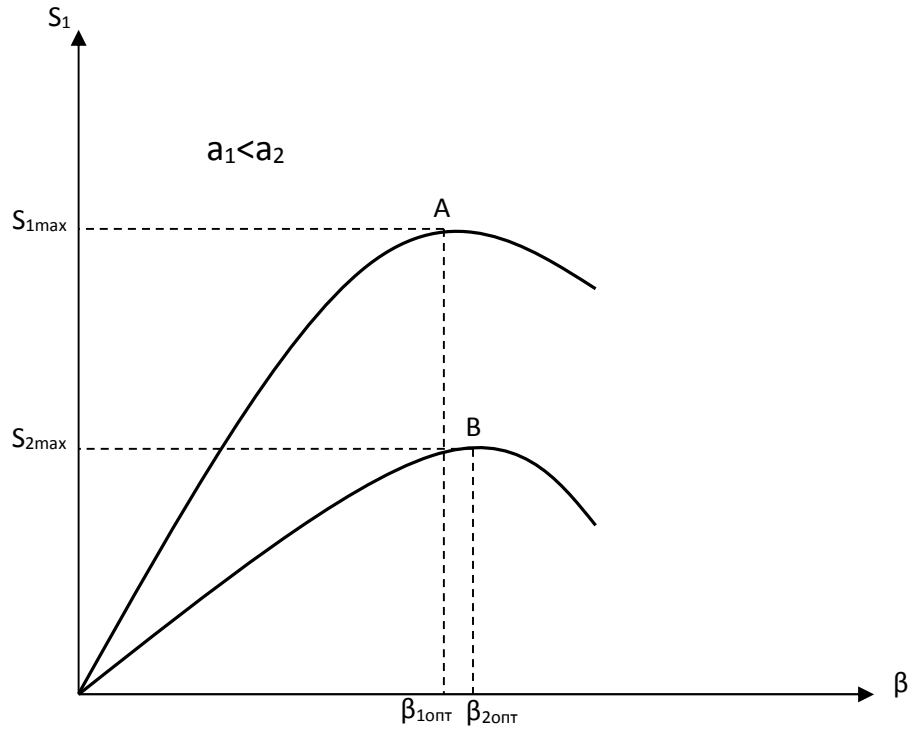


Рис.6

В выражение для коэффициента упругой чувствительности датчика S_2 входит отношение $\frac{W_0}{p}$, которое для плоской мембраны имеет вид:

$$\frac{W_0}{p} = \frac{3}{16} \cdot \frac{(1-\mu^2) \cdot R_M^4}{E \cdot \delta^3} \quad (15)$$

Тогда

$$S_2 = \frac{1}{W} \cdot \frac{3}{16} \cdot \frac{(1-\mu^2) \cdot R_M^4}{E \cdot \delta^3} \quad (16)$$

Следовательно, общая чувствительность датчика давления:

$$S_0 = \frac{\beta^2}{16} \cdot \frac{\beta^2 \cdot (\beta^2 - 3) + 3}{\beta^2 + a} \cdot \frac{1}{W} \cdot \frac{(1-\mu^2) \cdot R_M^4}{E \cdot \delta^3} \quad (17)$$

На концах электродов 3 и 4 (рис.4) возникают краевые поля, т.е. происходит искривление электростатического поля (рис.7).

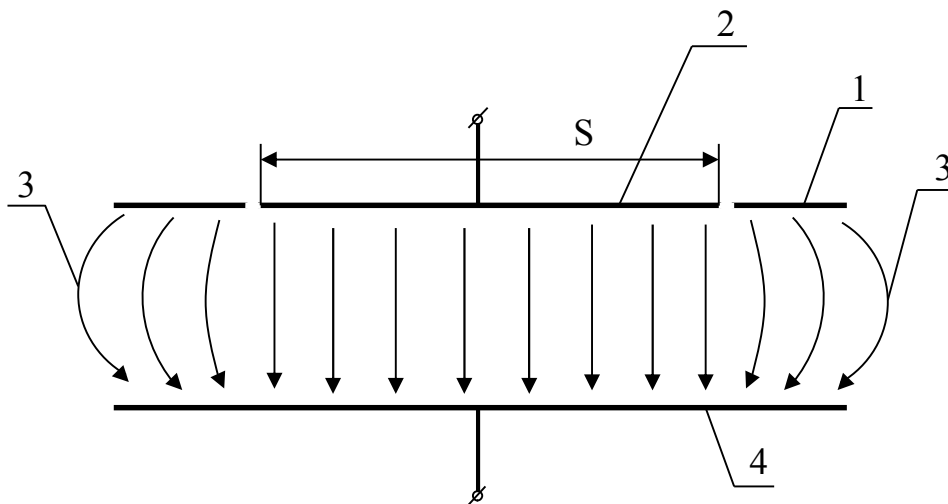


Рис.7

- 1- охрannое кольцо;
- 2,4- электроды;
- 3- краевой эффект.

Краевой эффект, соответствующим образом принятый в расчет, требует коррекции второго порядка как для емкости, так и для изменения емкости. Чтобы исключить краевой эффект и получить равномерное электрическое поле на краях электродов емкостного преобразователя, применяют специальное охрannое кольцо для одного из электродов, как показано на рис.5.

Благодаря такому устройству краевой эффект имеет место на внешней кромке охрannого кольца, а поле внутри площади S , охваченной охранным кольцом, оказывается однородным. Охрannое кольцо должно иметь тот же потенциал, что и электрод, который он окружает.

В тех случаях, когда невозможно применить охрannое кольцо, следует при расчетах емкости использовать поправочные коэффициенты.

Для воздушного конденсатора с электродами круглой формы с радиусом R_c ($W \ll R_c$) для случая, когда краевым эффектом пренебречь нельзя, емкость для различных положений мембраны равна:

$$C = 8,85 \cdot 10^{-2} \left\{ \frac{\pi R_c^2}{W \pm W_0} + R_c \left[\ln \frac{16\pi R_c}{W \pm W_0} + 1 + f\left(\frac{\delta}{W \pm W_0}\right) \right] \right\} \quad (18)$$

Значение функции $f\left(\frac{\delta}{W \pm W_0}\right)$ для различных отношений $\frac{\delta}{W}$

приведены на рис.8

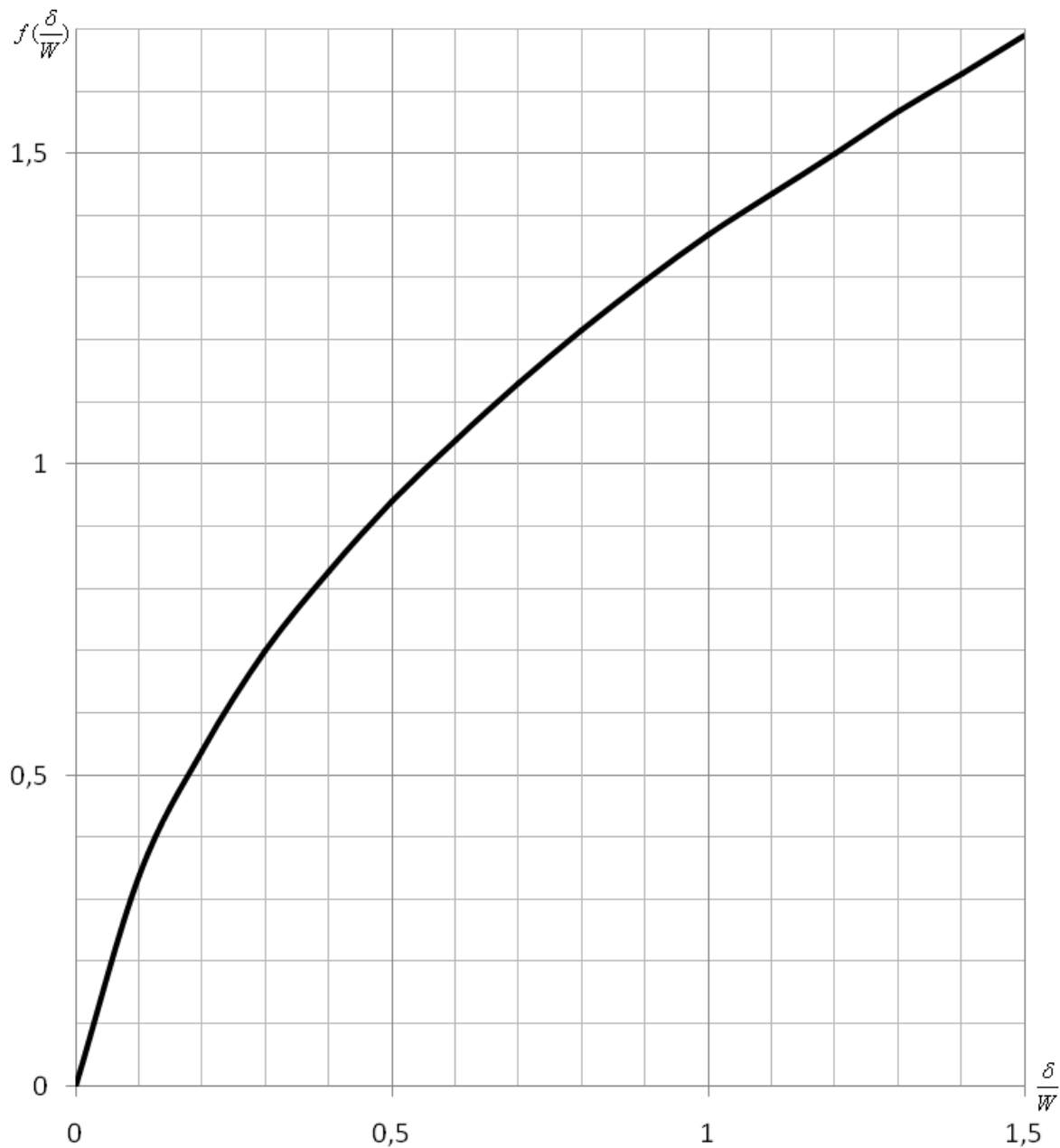


Рис.8

Для закрепленной по контуру мембраны напряжение в заделке определяется выражением

$$\sigma_{\max} = \frac{3}{4} \cdot \frac{R_M^2}{\delta^2} \cdot \Delta p, \quad \frac{\text{кг} \cdot \text{с}}{\text{см}^2} \quad (19)$$

Связь между давлением, диаметром мембраны и толщиной мембраны можно представить в виде:

$$\delta = K_\delta \cdot D \cdot \sqrt{\Delta p} \quad (20)$$

Для мембраны из стали:

$$\sigma_{\max} \leq \sigma_{\text{доп}} = 1000 \div 1500 \frac{\text{кг} \cdot \text{с}}{\text{см}^2}$$

Коэффициент K_δ равен $(1,12 \div 1,37) \cdot 10^{-2}$. В случае, если $\sigma_{\max} > 1500$, необходимо увеличить толщину мембраны до величины, обеспечивающей условие $\sigma_{\max} < 1500$.

Для измерения переменных давлений имеет значение частота собственных колебаний мембраны. Связь между частотой собственных колебаний мембраны, ее диаметром и толщиной можно представить в виде:

$$f_M = K_f \cdot \frac{\delta}{D^2} \quad (21)$$

Для мембраны из стали с $E = 2 \cdot 10^6 \frac{\text{кг} \cdot \text{с}}{\text{см}^2}$, $\mu = 0,3$

$$K_f \approx 1 \cdot 10^6 \text{ см} \cdot \text{с}^{-1}$$

4. Измерительные схемы емкостных преобразователей.

Емкости большинства преобразователей составляют 10-100 пФ, и поэтому даже при относительно высоких частотах напряжения питания (10^5 - 10^7 Гц) их выходные сопротивления велики и равны $X_C = 1/(\omega C) = 10^3 \div 10^7$ Ом. Выходные мощности емкостных преобразователей малы и в измерительных цепях необходимо применение усилителей. Допустимые значения напряжения питания емкостных преобразователей достаточно велики и напряжение питания, как правило, ограничивается не возможностями преобразователя, а условиями реализации измерительной цепи.

Основной трудностью построения измерительных цепей с емкостными преобразователями является защита их от наводок. Для этих целей как сами преобразователи, так и все соединительные линии тщательно экранируются. Однако экранированный провод имеет емкость C_K между жилой и экраном ($C \approx 50 \text{ нФ/м}$), которая при неудачном выборе точки соединения экрана может оказаться включенной параллельно емкости преобразователя.

При этом падает чувствительность преобразователя, так как относительное изменение емкости уменьшается на величину $x = \frac{\Delta C_0}{C_0} - \frac{\Delta C_0}{(C_0 + C_K)}$, и появляется весьма существенная по значению погрешность, вызываемая нестабильностью емкости C_K , поскольку любые изменения этой емкости воспринимаются как изменение рабочей емкости ΔC_0 . Поэтому при построении измерительной цепи с емкостными преобразователями в первую очередь обращается внимание на включение так называемых паразитных емкостей.

Кроме того, следует обращать внимание на линейность зависимости выходного параметра измерительной цепи от измеряемой величины, имея в виду, что емкостные преобразователи являются преобразователями высокоомными, а измеряемая величина может быть связана линейной зависимостью как с сопротивлением преобразователя (при изменении зазора), так и с его проводимостью (при изменении площади S или диэлектрической проницаемости ϵ).

Для работы с емкостными преобразователями применяют измерительные цепи, в основу которых положены различные структуры –

делители напряжения, измерительные мосты, емкостно-диодные цепи, резонансные контуры.

На рис.9 приведены варианты мостовых схем включения дифференциальных емкостных датчиков давления с заземленным подвижным электродом (с мембраной).

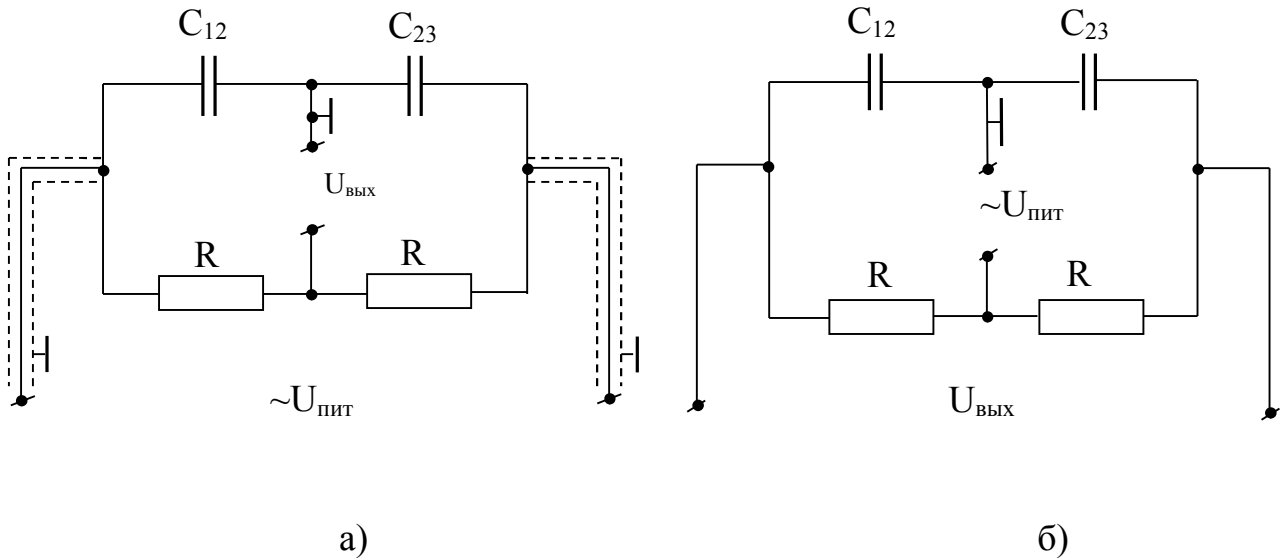


Рис. 9

Для схемы, изображенной на рис. 9а, выходное напряжение разбаланса моста без учета паразитных емкостей соединительных кабелей имеет вид:

$$U_{ВЫХ} = \frac{1}{2} \cdot U_{ПИТ} \cdot \frac{W_0}{W} \quad (22)$$

С учетом паразитных емкостей двух кабелей, соединяющих датчик с питающим генератором, выражение для $U_{ВЫХ}$ усложняется:

$$U_{ВЫХ} = \frac{1}{\left[(1+a) - a \cdot \left(\frac{W_0}{W} \right)^2 \right]} \cdot \frac{1}{2} \cdot U_{ПИТ} \cdot \frac{W_0}{W} \quad (23)$$

Здесь
$$a = \frac{C_K}{C} \approx \frac{x_C}{x_K},$$

где C_K, x_K – паразитная емкость кабеля и его сопротивление;
 C, x_C – емкость датчика и его сопротивление.

С учетом паразитных емкостей выходное напряжение нелинейно зависит от перемещения мембраны. Нелинейность уменьшается с относительным уменьшением величины паразитной емкости по сравнению с емкостью датчика.

Максимальная погрешность нелинейности достигает при максимальном прогибе мембраны.

Для схемы, изображенной на рис. 9,б, в которой емкость кабеля присоединена параллельно мосту и незначительно влияет на его работу, при равенстве переменных и постоянных плеч моста ($R=X$) выходное напряжение имеет вид:

$$U_{\text{ВЫХ}} = \frac{\frac{W_0}{W} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{W_0}{W}\right)^4}}{1 + \left(\frac{W_0}{W}\right)^4} \cdot U_{\text{ПИТ}} \quad (24)$$

Погрешность от нелинейности в этом случае меньше, чем в первой схеме при вдвое большей чувствительности. Однако эта схема более чувствительна к нестабильности питающей частоты.

Для определения погрешности нелинейности предварительно целесообразно аппроксимировать нелинейную характеристику прямой линией. Причем желательно иметь оптимальную аппроксимирующую прямую, поскольку через нелинейную характеристику можно провести несколько прямых. Наилучшей аппроксимирующей прямой будет такая, которая пересекает характеристику в области преобразования по меньшей мере дважды (рис.10).

В качестве первого приближения может служить прямая, проходящая через конечные точки характеристики – y_1 . Второе приближение характеризуется точками пересечения внутри диапазона преобразования – y_2 .

При этом разности между характеристикой преобразования и аппроксимирующими прямыми соответственно будут:

$$\begin{aligned} \Delta y_1(x) &= y(x) - y_1(x), \\ \Delta y_2(x) &= y(x) - y_2(x). \end{aligned} \quad (24)$$

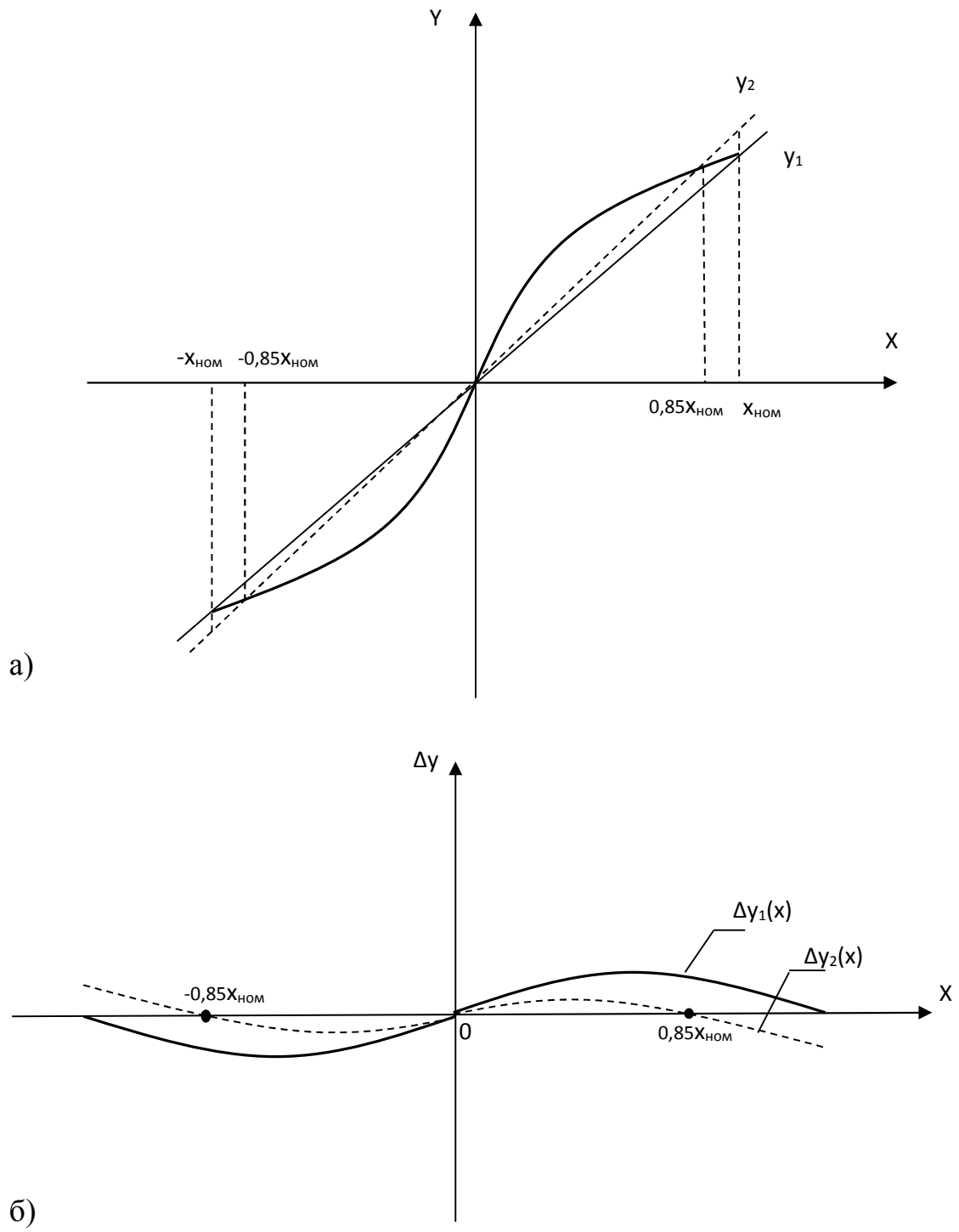


Рис.10

Не прибегая к специальной оптимизации полученных характеристик, можно добиться хорошей аппроксимации, если выбрать две опорные точки, кратные $\approx (0,7 \div 0,87)$ конечного значения.

Следует отметить, что эти рекомендации эффективны только для нелинейных характеристик, представленных на рис.10 (или близких к ним). Характеристика должна проходить через ноль и выходные величины в опорных точках аппроксимации должны быть симметричны.

5. Особенности емкостных датчиков давления.

Емкостные датчики промышленного назначения работают в условиях изменяющихся температур, влажности и других внешних факторов.

Относительное изменение емкости определяется как:

$$\gamma_C = \gamma_E + \gamma_S - \gamma_W \quad (25)$$

Площадь электродов, как правило, при изменении температуры изменяется на весьма малую величину. Зазор между электродами в преобразователях составляет 10мкм – 1мм, и его изменение даже на 0,1 мкм могут вызвать существенную погрешность. Поэтому при конструировании емкостных датчиков должны быть тщательно продуманы вопросы крепления электродов и защиты от выпадения. На рабочих плоскостях электродов каких-либо осадков (гармонизация, вакуумирование и т.д.). Одной из основных причин изменение зазора между электродами является изменение геометрических размеров, вызываемых линейным расширением материалов под действием температуры.

Поскольку электроды емкостных датчиков должны быть соединены механически, требуются твердые держатели из изолирующего материала. Выбор соответствующего изолирующего материала весьма важен. Он должен обладать достаточной механической прочностью и, что еще более необходимо, чрезвычайно высокой стабильностью формы. Его температурный коэффициент линейного расширения должен быть как можно меньше и как можно точнее известен, так как он, весьма вероятно, будет воздействовать на стабильность активного воздушного зазора. В некоторых случаях температурный коэффициент линейного расширения должен

противопоставляться коэффициенту расширения других частей конструкции датчика с тем, чтобы добиться улучшения стабильности нуля путем компенсации. Обычно лучше подходят для этих целей керамические изоляционные материалы, чем пластические или органические. В настоящее время возможно обрабатывать любые керамические материалы ультразвуком, так что несколько экземпляров изоляторов могут быть сделаны без дорогостоящих приспособлений для отливки или шлифования.

Металлические части, диафрагмы, электроды и держатели также должны обладать высокой степенью стабильности формы. Предпочтение можно отдать малорасширяющимся и высокотемпературным сплавом типа железоникелевого, хотя они очень трудно обрабатываются.

Поверхности пластин конденсатора внутри преобразователя практически невозможно очистить во время работы; поэтому воздушный зазор должен быть тщательно защищен от влаги, пыли и паров, способных вызвать коррозию. Полезным оказывается покрытие поверхностей родием и это совершенно необходимо для электродов, погружаемых в жидкость.

Комбинации металлов и сплавов, используемых при конструировании датчиков, должны тщательно подбираться с тем, чтобы исключить электролитическую коррозию, особенно если датчик не может быть хорошо защищен от окружающей среды. В миниатюрных датчиках давления применяется также анодирование поверхностей алюминиевых деталей. Корпус датчика должен быть абсолютно жестким, чтобы исключить любое искривление в случае крепления на неровной поверхности. Возможно также механическое изолирование от корпуса чувствительного элемента, т.е. мембраны.

Диэлектрическая проницаемость воздуха весьма стабильна и мало меняется под действием внешних условий: при изменении температуры на 10°C погрешность от изменения диэлектрической проницаемости составит $\gamma_E=0,002\%$, а при изменении влажности от 30 до 40% - $\gamma_E=0,01\%$, и при изменении давления на 10^5 Н/м^2 $\gamma_E=0,06\%$.

Электростатическое экранирование проводов емкостного преобразователя весьма существенно и должно быть проведено так, чтобы не оставалось неэкранированных промежутков. По этой причине часть кабеля делается обычно как неотъемлемая составляющая преобразователя.

Исходя из вышеизложенного, можно отметить следующие особенности емкостных датчиков:

1. Наличие больших по сравнению с собственной емкостью датчика присоединительных емкостей, зависящих от внешних условий. Это обстоятельство заставляет прибегать к использованию высокочувствительных схем и изыскивать меры, ослабляющие вредное воздействие присоединительных емкостей на чувствительность приемника и точность измерения.

2. Необходимость в тщательной изоляции электродов друг от друга и, как правило, от земли. Практически всякое нарушение изоляции приводит к искажениям начальных емкостных связей, нарушению градуировки и дрейфу нуля.

3. Необходимость в тщательном подборе материалов для электродов и корпуса, исключающем изменение зазора между электродами при изменении температуры в процессе эксплуатации датчика. Погрешность емкостных датчиков определяется главным образом влиянием температуры на геометрические размеры электродов.

4. Необходимость в удовлетворении при конструировании датчиков давления противоречивых требований: малых габаритов и большой начальной емкости, при которой уменьшается выходное сопротивление датчика и облегчаются требования, предъявляемые к изоляции датчика и к параметрам измерительной цепи.

5. Необходимость учитывать в датчиках недифференциального типа при упругой конструкции подвижного электрода с малой жесткостью наличие реактивных сил электростатического притяжения между подвижным и неподвижными электродами.

Перечисленные особенности определяют недостатки емкостных датчиков давления. К преимуществам датчиков, работающих при малых перемещениях мембраны (0,2 ÷ 0,4 мм), относятся:

- высокая чувствительность ($\sim 500 \frac{B}{мм}$), большая, чем у индуктивных и магнитоанализаторных датчиков сопоставимых размеров, при практически линейных характеристиках и малых погрешностях измерений;
- простота конструкции, малые габариты и вес;
- малая инерционность и малые измерительные усилия.

6.Содержание пояснительной записки. Варианты задания.

Согласно заданию требуется спроектировать емкостной датчик давления, основанный на преобразовании давления, воспринимаемого мембраной, в изменение емкости конденсатора, образованного мембраной и подвижным электродом датчика. В таких датчиках давления емкость изменяется за счет изменения зазора между подвижным электродом (мембраной) и неподвижным электродом. Рассматриваемый дифференциальный датчик давления обладает относительно большим линейным диапазоном выходной характеристики. В таком датчике упругая мембрана является центральным электродом, а крайние электроды неподвижны. При прогибе мембраны емкость между одной парой электродов уменьшается, а между другой возрастает. Обе емкости включаются в соседние плечи измерительного моста.

Реализация дифференциальной схемы позволяет вдвое увеличить чувствительность по сравнению с двухэлектродными датчиками, компенсировать погрешности от изменения температуры и влажности окружающей среды и расширить пределы измерения.

В таблице 1 приведены различные варианты заданий. Цифры от 1 до 30 в таблице означают порядковые номера фамилий студентов в журнале. Исходные данные для расчета курсового проекта:

- 1- максимальная величина избыточного давления - $\Delta p, \frac{\text{кгс}}{\text{см}^2}$
- 2- диаметр мембраны, D , см
- 3- отношение максимального прогиба мембраны к зазору между мембраной и неподвижным электродом - $\frac{W_{0\max}}{W}$
- 4- коэффициент $a = \frac{C_K}{C}$ - отношение емкости кабеля к емкости датчика при $W_0 = 0$.

Исходя из задания в курсовом проекте должны быть рассчитаны:

- толщина мембраны;
- механическое напряжение в местах заделки мембраны;
- частота собственных колебаний мембраны;
- номинальное значение емкости датчика;

- чувствительность датчика. Для этого предварительно рассчитывается коэффициент тензочувствительности S_1 значений β от 0 до 1 с дискретностью 0,05, находится $\beta_{\text{опт}}$ (при максимальном значении коэффициента тензочувствительности);
- радиус неподвижного электрода R_c ;
- зависимость изменения емкости от перемещения мембраны с учетом краевого эффекта (10 точек), $C=f_1(\Delta p)$;
- зависимость выходного напряжения разбаланса мостовых схем для датчика с заземленной мембраной с учетом паразитных емкостей кабелей, $U_{\text{вых}}=f_2(\Delta p)$, (формулы 22 и 23);
- вычислить погрешности нелинейности рассчитанных характеристик $C=f_1(\Delta p)$ и $U_{\text{вых}}=f_2(\Delta p)$.

Все рассчитанные характеристики и зависимости оформляются в виде таблиц и графиков.

Графики выполняются в надлежащем масштабе, чтобы можно было произвести достаточно надежные графические отсчеты.

Чертеж конструкции должен быть выполнен в увеличенном масштабе.

Таблица 1

$\Delta p, \frac{\text{кгс/см}^2}{\text{см}^2}$	5	6	7	8	9	10
D, см						
0,5	1	2	3	4	5	6
0,7	7	8	9	10	11	12
0,8	13	14	15	16	17	18
0,9	19	20	21	22	23	24
1,0	25	26	27	28	29	30
$\frac{W_2}{W}$	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15
$a = \frac{C_2}{C}$	0,10	0,15	0,20	0,25	0,35	0,50

7.Литература

1. Раннев Г.Г., Тарасенко А.П. Методы и средства измерений. –М.: Издательский центр “Академия”, 2010
2. Раннев Г.Г. Интеллектуальные средства измерения, -М. Академия, 2010.
3. Методы и средства измерений параметров газового потока. Петунин А.Н. М.: “Машиностроение”, 1982г.
4. Дж. Фрайден. Современные датчики. М.: Техносфера, 2006.