

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ГОФРИРОВАННОЙ МЕМБРАНЫ С ПРИСОЕДИНЕННОЙ МАССОЙ

*Полоцкий государственный университет
Новополоцк, Беларусь*

В последние годы весьма остро стоит проблема разработки и применения совершенных систем управления и измерительно-информационных систем. Реализация предпосылок для широкой автоматизации промышленных процессов определяется возможностями устройств получения информации о регулируемом параметре. Первичную информацию обычно получают путем оснащения исследуемых или контролируемых объектов датчиками различных физических величин. Большое разнообразие аппаратуры, в том числе и датчиковой, для измерения давления объясняется тем, что понятие “давление” охватывает обширную область значений – от сверхвысокого вакуума до сверхвысоких избыточных давлений. Обязательным элементом датчиков, используемых при измерении давлений, является наличие в их конструкции элементов, чувствительных к давлению – разнообразных мембран, мембранных и анероидных коробок, витых трубок, трубок Бурдона, сильфонов, колпачков. Широкое применение металлических мембран обусловлено следующими факторами: возможностью изготовления из различных высококачественных упругих сталей и сплавов, а также из других материалов с требуемыми свойствами, в том числе, предназначенных для работы в агрессивных, высокотемпературных или криогенных средах; относительной простотой технологического изготовления и низкой трудоемкостью; высокой надежностью и несложностью соединения мембран с корпусными деталями измерительных узлов при использовании современной сварки и пайки с металлами и другими конструкционными материалами. Кроме того, мембранами различной геометрической формы перекрывается диапазон давлений от 10 до 10^8 Па.

При разработке макета датчика давления, в котором в качестве вторичного электронного преобразователя применяется микроэлектронный преобразователь Холла из GaAs, возникла необходимость исследования присоединенной массы на упругую характеристику мембраны, показанной на рис. 1.

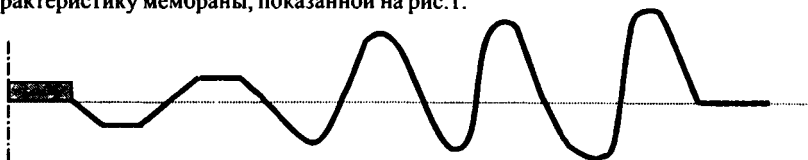


Рис. 1 Гофрированная мембрана с неравномерной гофрировкой

Это связано с тем, что на жесткий центр металлической мембраны устанавливается малогабаритная магнитная система, обладающая определенной массой. Поэтому необходимо точное изучение влияния присоединенных масс на работу датчика в целом, так как преобразование давления в линейное перемещение магнитной системы, осуществляемое чувствительным элементом, должно производиться с максимальной точностью и с наименьшими потерями информации о входной величине (высокая чувствительность).

Для исследования влияния присоединенной массы изготовлена экспериментальная установка (рис.2).

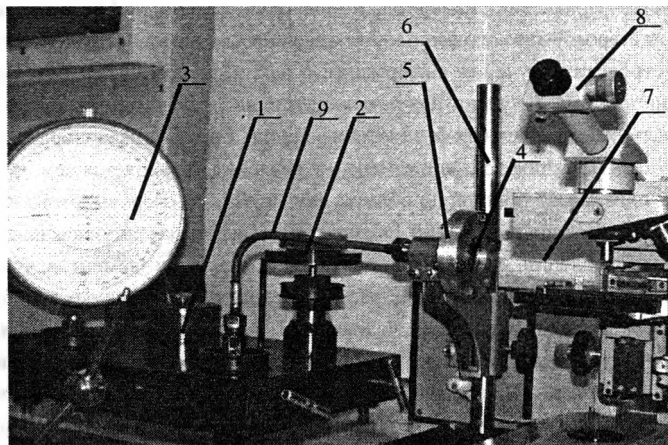


Рис. 2. Экспериментальная установка для исследования характеристик металлических мембран с присоединенной массой

Давление задается с помощью грузопоршневого манометра избыточного давления 1 МП–60М класса 005, нагружаемого непосредственно грузами 2 и контролируется деформационным манометром 3, класс точности которого 0,15. Исследуемая мембрана 4 в сборе с жестким центром, изготовленным из титана, закреплена обжимом по контуру в оправке 5, которая обладает достаточно высокой прочностью и изготовлена из немагнитного материала – аустенитной стали 12Х18Н10Т. Герметизация мембраны проведена с помощью клея ВК95. Оправка с мембраной жестко укреплена на штативе 6. К жесткому центру мембраны приклеен передатчик перемещений – стеклянный прозрачный шток 7 с нанесенными на него рисками. Риски, расположенные друг от друга на одинаковом расстоянии, служат для считывания информации о прогибах жесткого центра мембраны. Определение прогиба мембраны фиксируется с помощью микроскопа “Биолам–М” 8. Давление масла к мембране подводится через

герметичную систему 9, состоящую из медной трубки со штуцерами. Для повышения точности измерений штатив с оправкой и микроскоп установлены неподвижно друг относительно друга на одном массивном основании. Присоединение массы к жесткому центру осуществляется с помощью тонкого клевого соединения. После добавления груза производится контроль массы оправки с помощью электронных весов. Исследовалось влияние присоединенной массы $M_{пр}$ от 0,1г. до массы, превышающей массу мембраны в шесть раз (исходная масса мембраны M_m в сборе с жестким центром составляет 3,7г.) с шагом 0,1г. Для устранения систематической погрешности на результаты эксперимента давление к мембране для каждой присоединенной массы подводилось не монотонно, а произвольно, по ряду, определяемому генератором случайных чисел. Обработка результатов наблюдений производилась на ЭВМ с помощью математических пакетов 'MathCAD7.0', 'Excel' и 'Statistica' согласно [1].

Установлено, что присоединенная масса, не превышающая $2\gamma M_m$, практически не влияет на упругую характеристику мембраны (рис.3). Однако на этом участке масс ($0 < M_{пр} < 2 \times M_m$) следует выделить две области:

1. Прогибы при $M_{пр} \leq 1,5 \times M_m$ несколько увеличиваются (не более 3–5% по отношению к прогибам, когда $M_{пр} = 0$).
2. В случае, когда $1,5 \times M_m < M_{пр} \leq 2 \times M_m$ прогибы несколько уменьшаются (не более 1–2% по отношению к прогибам, когда $M_{пр} = 0$).

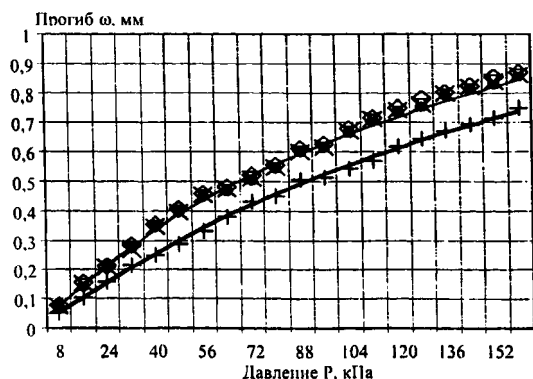


Рис.3 Зависимости прогиба мембраны от величины приложенного давления для различных значений присоединенных масс $M_{пр}$

- теоретическая линия при $M_{пр}=0$ гр.;
- × экспериментальные данные при $M_{пр}=0$ гр.;
- экспериментальные данные при $M_{пр}=3,8$ гр.;
- ◇ экспериментальные данные при $M_{пр}=5,4$ гр.;
- экспериментальные данные при $M_{пр}=7,4$ гр.;
- теоретическая линия при $M_{пр}=15$ гр.;
- + экспериментальные данные при $M_{пр}=15$ гр.

Когда $M_{np} > 2 \times M_m$ упругая характеристика мембраны становится более линейной, чем исходная ($M_{np} = 0$), но величина прогиба в этом случае достаточно резко уменьшается.

Аналитическое определение зависимости прогиба от величины воздействующего давления проведено с использованием метода отношений, описанным в [2]. Исследования упругой характеристики гофрированной мембраны с неравномерным гофром, проведенные без присоединенной массы показаны в работе [3], где предложен алгоритм расчета с использованием выражений геометрической формы мембраны. Применение подобного алгоритма позволило с высокой точностью (погрешность порядка 1%) аналитически определить упругую характеристику гофрированной мембраны.

Для учета присоединенной массы в полученное выражение, определяющее упругую характеристику мембраны [2, 3] вводятся коэффициенты m_1 и m_2 :

$$\frac{p \times R^4}{E \times h^4} = m_1 \times \eta_p \times a_p \times \frac{\omega_0}{h} + m_2 \times \xi_p \times b_p \times \frac{\omega_0^3}{h^3}$$

$$m_1 = M_m - 0.25 \times M_{np}, \quad \text{для } 0 < M_{np} < 2 \times M_m$$

$$m_1 = M_m + 0.1 \times M_{np}, \quad \text{для } 6 \times M_m \leq M_{np} \leq 2 \times M_m$$

$$m_2 = 4 \times M_m + \ln(M_{np}^2 + M_m \times M_{np} + M_m), \quad \text{для } 0 < M_{np} < 2 \times M_m$$

$$m_2 = 4 \times M_m + \ln(2 \times M_{np}^3), \quad \text{для } 6 \times M_m \leq M_{np} \leq 2 \times M_m$$

Предлагаемый алгоритм определения упругой характеристики гофрированной мембраны с присоединенной массой с использованием выражений геометрической формы мембраны позволяет с довольно высокой степенью точности (погрешность не более 5%), проводить подобные расчеты.

ЛИТЕРАТУРА

- ГОСТ 8207-76. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений.
- Довгяло Д.А., Рымарев В.А. Гофрированная металлическая мембрана с неравномерной гофрировкой // Метрологическое обеспечение качества-2000: материалы международной научно-технической конференции / Мн.: Тесей, 2000.- С.191-196.
- Андреева Л.Е. Упругие элементы приборов.-М.: Машиностроение, 1981.-391с.