

ИЗМЕРИТЕЛЬ ПЕРЕПАДА ДАВЛЕНИЯ ГАЗА С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ВЫХОДНЫМ СИГНАЛОМ И ЗАЩИТОЙ ОТ ПЕРЕГРУЗКИ ПО ДАВЛЕНИЮ ДЛЯ СТАЦИОНАРНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ

М.В. Ткаченко, науч. сотр., А.М. Левтеров, канд. техн. наук, В.М. Семикин, науч. сотр.,

Н.П. Васильченко, вед. инж.,

Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины, г. Харьков, Украина

Общая постановка проблемы и ее связь с научно-практическими задачами. До настоящего времени в многочисленных лабораториях и на испытательных стендах научно-исследовательских институтов, конструкторских бюро и промышленных предприятий эксплуатируется большое количество традиционных стеклянных жидкостных дифманометров. Эти доступные и сравнительно высокоточные приборы имеют существенные недостатки. Из-за отсутствия электрического выходного сигнала они не могут быть использованы в современных электронных системах автоматического контроля и регулирования экспериментальных исследований и производственных процессов, т. е. являются морально устаревшими. Визуальный способ снятия информации связан с большой вероятностью ошибок оператора, повышенной утомляемостью, существенным снижением точности измерений и т.д. Хрупкость и недостаточная прочность стекла способствуют возникновению аварийных ситуаций и, кроме того, не позволяют измерять небольшие перепады давления на фоне высоких статических давлений. Традиционные стеклянные дифманометры к тому же не защищены от перегрузок по давлению.

Таким образом, очевидна необходимость создания надежных измерительных устройств с высокими метрологическими характеристиками для замены традиционных дифманометров.

Обзор публикаций и анализ нерешенных проблем.

Для традиционных дифманометров рабочий диапазон измеряемых перепадов давления находится в интервале 0 – 2000 мм вод.ст. (0 – 19,6 кПа). В этом диапазоне сейчас применяются в основном тензоре-

зисторные и емкостные преобразователи давления. Известны разработки емкостных преобразователей давления, выполненные такими ведущими приборостроительными фирмами, как Druck & Hauser, Furness Control Ltd и Fischer & Porter (ФРГ); Detametrics (США); Rosemount (Великобритания) и др. Общей чертой большинства датчиков с емкостными преобразователями есть то, что воспринимающими давление элементами являются мембраны, для которых характерны следующие основные недостатки: неравномерная чувствительность и нелинейность преобразования измеряемого параметра; упругое последействие; чувствительность к перегрузкам по давлению и ограниченная величина допускаемой перегрузки; необходимость контроля градуировки после прекращения действия перегрузки. Степень защиты датчиков от перегрузок по давлению, как правило, невысока и зачастую лишь в 1,25 – 2 раза превышает максимальное рабочее давление (например, приборы фирм Degussa AG, Druck Meßtechnik GmbH), а повреждение мембраны приводит датчик в негодность.

Следует отметить еще один из важных аспектов проблемы – это создание надежных и достаточно чувствительных измерительных приборов (микроманометров) для очень малых перепадов давления газов в диапазоне 0 – 50 мм вод.ст. (0 – 490 Па). Именно в этом диапазоне имеется "пробел" в номенклатуре предлагаемых фирмами приборов и ощущается острый их дефицит. Это связано с технологическими трудностями при изготовлении и эксплуатации чувствительных элементов для указанного диапазона, так как толщина мембраны должна быть порядка одного микрона.

Цель исследований. Целью исследований являлась разработка оригинального прибора с электрическим выходным сигналом и эффективной защитой от перегрузок по давлению, предназначенного для измерения постоянных или медленно изменяющихся перепадов давления газов взамен используемых в научных исследованиях и в различных технологических процессах традиционных жидкостных стеклянных дифманометров и микроманометров.

Результаты исследований. Разработанный измеритель перепада давления газа (ИПД) состоит из чувствительного элемента – дифференциального емкостного датчика давления, работающего по принципу жидкостного U-образного дифманометра, электронного преобразовательного блока и системы защиты от перегрузок по давлению [1, 2, 3].

Датчик давления образован двумя соединенными между собой идентичными емкостными коаксиальными датчиками уровня жидкости. В качестве манометрической жидкости используется практически неиспаряемая полиметилсилоксановая жидкость (силиконовое масло) марки ПМС-1,5Р с повышенной стабильностью физико-химических свойств в интервале температур от $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ и со сравнительно небольшой вязкостью (всего в 1,5 раза превышает вязкость воды). Плотность ее $\sim 0,85\text{ г/см}^3$, а диэлектрическая проницаемость $\epsilon = 2,3$.

Чувствительный элемент преобразует перепад давления газа в пропорциональное изменение электрической емкости. Выходной сигнал, определяемый как разность электрических емкостей ΔC , пФ, обоих плеч датчика при разности уровней жидкости в них Δh , см, можно найти из выражения

$$\Delta C = \frac{C_0 \Delta h (\epsilon_{\text{ж}} - 1)}{l}, \quad (1)$$

где $\epsilon_{\text{ж}}$ – диэлектрическая проницаемость манометрической жидкости;

l – высота датчика, см;

C_0 – начальная емкость пустого коаксиального емкостного датчика, пФ,

$$C_0 = \frac{0,24\epsilon l}{\lg \frac{D}{d}},$$

где ϵ – диэлектрическая проницаемость среды в полости датчика;

D – внутренний диаметр наружного электрода датчика;

d – наружный диаметр внутреннего электрода.

Функциональная схема ИПД представлена на рис. 1. Плечи 1 и 2 дифференциального датчика давления включены в схему симметричного мультивибратора 3 с коллекторно-базовыми связями. С выходами мультивибратора соединены одинаковые интегрирующие RC-цепи 4, 5, электрические сигналы с которых подаются на входы дифференциального усилителя 6. Выходной сигнал усилителя обрабатывается дальше в зависимости от требуемого его характера и способа индикации: к выходу дифференциального усилителя 6 могут быть подключены цифровой индикатор перепада давления 7, усилитель напряжения 8 для получения потенциального выходного сигнала 0 – 10 В и токовый усилитель 9 с выходным сигналом 0 – 5 мА.

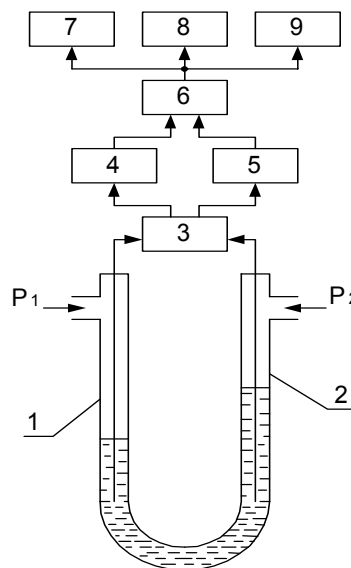


Рис. 1. Функциональная схема ИПД

В отсутствие перепада давления имеют место равновесие манометрической жидкости в датчике и состояние электрической симметрии мультивибратора, генерирующего на своих выходах сдвинутые по фазе на π радиан последовательности прямоугольных импульсов со скважностью

$$Q = \frac{T}{t_{\text{и}}} = 2,$$

где $T = 2R_6C_6\ln 2$ – период колебаний;

$t_{\text{и}} = R_6C_6\ln 2$ – длительность импульсов.

В этих выражениях R_6 и C_6 – значения соответственно сопротивления и емкости времязадающей (хронизирующей) цепи мультивибратора.

Вследствие симметрии схемы в состоянии равновесия ($\Delta P = 0$) выходные сигналы интегрирующих цепей 4, 5 одинаковы, поэтому на выходе дифференциального усилителя 6 и оконечных устройств 7, 8, 9 будет нулевое значение сигнала. При подаче неравных по величине давлений P_1 и P_2 в плечи датчика ($\Delta P \neq 0$) электрические емкости плеч изменяются в разные стороны, симметрия мультивибратора нарушается, соответственно в разные стороны изменяются длительности и скважности импульсов на его выходах и, как следствие, уровни напряжения сигнала на выходах интегрирующих цепей. В результате появляется пропорциональный приложенному перепаду давления электрический сигнал на выходных устройствах 7, 8, 9 схемы измерителя.

Учитывая (1), разность ΔC электрических емкостей плеч датчика линейно зависит от разности уровней жидкости в них Δh , т.е. от приложенного перепада давления ΔP . Благодаря дифференциальности датчика давления ИПД свойственны повышенная чувствительность во всем диапазоне измерений, а также стабильность параметров в отношении изменения условий внешней среды.

Диапазон измеряемых прибором перепадов давления определяется габаритами (высотой) емкостного датчика давления и может быть выбран любым в интервале 0 – 2000 мм вод.ст. (0 – 19,6 кПа). Модификации ИПД возможны в виде микроманометра, например в диапазоне 0 – 50, 0 – 100, 0 – 200 мм вод.ст. (0 – 1,96 кПа) с разрешающей способностью 0,1 или 0,01 мм вод.ст.

Экспериментальные исследования ИПД для диапазонов измерения 0 – 1000 мм вод.ст. (0 – 9,8 кПа) и 0 – 200 мм вод.ст. (0 – 1,96 кПа) подтвердили их ра-

ботоспособность и надежность. Получена разрешающая способность 1 мм вод.ст. и 0,1 мм вод.ст. соответственно.

Линейность преобразования измеряемого параметра обеспечивается линейностью передаточной характеристики во всех функциональных звеньях схемы (рис. 1). Датчик давления (секции 1, 2), интегрирующие цепи 4, 5, дифференциальный усилитель 6, выходные усилители напряжения 8 и тока 9, а также цифровой индикатор 7 удовлетворяют этому условию. Передаточная характеристика мультивибратора 3 линейна с достаточной точностью, если абсолютные приращения значений емкостей в его обоих плечах не превышают 5 – 10 % при максимальном значении измеряемого перепада давления. Это условие обеспечивается подключением параллельно секциям 1 и 2 балластных конденсаторов соответствующего номинала.

Относительная погрешность измерения для обоих ИПД не превысила 0,25 – 0,3 %. Результат может быть улучшен за счет обеспечения идентичности по электрической емкости секций 1 и 2 (в эксперименте разброс емкостей составил 6 – 8 %).

Сравнительные испытания ИПД и серийного прибора "Сапфир" (Россия) аналогичного назначения показали, что по ряду важных параметров (линейность характеристики, долгосрочная стабильность) разработанный прибор превосходит серийный.

С целью расширения функциональных возможностей прибор может быть оснащен дополнительным узлом сигнализации об отклонении перепада давления от заданного значения с одновременной подачей управляющего сигнала на исполнительное устройство для регулирования контролируемого параметра. Разработаны однопозиционный и двухпозиционный варианты сигнализатора, когда задаются соответственно одно или два (верхнее и нижнее) допустимые предельные значения параметра. Пределы сигнализации (регулирования) перестраиваются и индицируются непосредственно в ИПД в интервале 0 – 100 % рабочего диапазона прибора. Разрешающая способность сигнализатора – не более 0,25 мм вод.ст.

Создан вариант дистанционного ИПД, в котором частотный сигнал от автогенераторного преобразователя давления с описанным датчиком по коаксиальному кабелю передается на требуемое расстояние (до нескольких сотен метров) во вторичный блок. Емкость кабеля не влияет на результат измерения.

Разработана эффективная система защиты от плавных и импульсных перегрузок по давлению, предотвращающая выброс манометрической жидкости и разрушение датчика. Причем после прекращения действия перегрузки ИПД автоматически возвращается в исходное состояние с сохранением градуировки и продолжает работать в обычном режиме измерения перепада давления. Величина перегрузки может во много раз превышать диапазон измерения. Для ИПД с рабочим диапазоном 0 – 200 мм вод.ст. (0 – 1,96 кПа) экспериментально проверена эффективность системы защиты от перегрузок по давлению вплоть до 20 кг/см² (1,96 МПа) как в импульсном, так и плавном режимах повышения давления.

Чувствительный элемент ИПД и защитное устройство выполнены металлическими, что позволяет измерять малые (мм вод.ст.) перепады давления газа на фоне высоких статических давлений, величина которых ограничивается лишь механической прочностью конструкции датчика. Это важно, например, в системах определения расхода компримированного газа по перепаду давления на сужающем устройстве.

Перспективы дальнейших исследований. Предполагается создание специального микроманометра, который позволит проводить длительные измерения очень малых (0 – 10; 0 – 50 мм вод.ст.) перепадов давления газов с учетом изменения атмосферного давления, что весьма существенно при исследовании тонких физических или физико-химических эффектов.

Выводы

1. Разработанный измеритель перепада давления газа, при однотипности монтажа и обслуживания с традиционными стеклянными жидкостными дифманометрами, позволяет:

- повысить точность измерения;
- упростить процедуру съема показаний за счет цифровой индикации и унифицированного электрического выходного сигнала;
- обеспечить надежность и предотвратить выброс манометрической жидкости при перегрузках по давлению;
- измерять малые перепады давления на фоне высоких (десятки атмосфер) статических давлений;
- обеспечить индикацию не только величины, но и знака разности давлений.

2. Модификации ИПД в виде микроманометра обеспечивают высокую чувствительность и надежность измерения очень малых перепадов давления газов (0 – 50 и 0 – 200 мм вод.ст.), что дает возможность заполнить эту "техническую нишу".

3. Технические характеристики ИПД и возможность дистанционного измерения перепада давления позволяют использовать его в системах автоматизированного контроля, сбора информации и управления.

Литература

1. Пат. 1800297 Россия, МКИ G 01 L 7/18. Дифманометр / М.В. Ткаченко, А.П. Кудряш, В.М. Семикин, А.А. Потапенко (Украина). – Оpubл. 07.03.93. Бюл. №9.
2. Ткаченко М.В., Кудряш А.П. Использование измерительных схем с дифференциальным емкостным датчиком давления. – Харьков; 1988. – 51 с (Препр. / НАН Украины. Ин-т пробл. Машиностроения, 300).
3. Ткаченко М.В., Кудряш А.П. Цифровой измеритель перепада давления для стендовых испытаний энергоустановок // Пробл. машиностроения. – 1992. – Вып. 37. – С. 86–89.

Поступила в редакцию 01.06.03.

Рецензенты: канд. техн. наук, нач. лаборатории П.Я. Перерва, КП ХКБД, г. Харьков; канд. техн. наук, руководитель лаборатории водородных энерготехнологий Ю.Ф. Шмалько, ИПМаш им. А.Н. Подгорного НАН Украины, г. Харьков.