Б. К. Брюханов, Б. К. Григоровский, В. И. Юркеник

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА ЖИДКОСТИ В СОСУДЕ

При работе и испытании устройств авиационной техники часто возникает необходимость контролировать баковые системы, содержащие жидкость и газовую подушку. Обычно контроль сводится к измерению объемного или весового количества жидкости. С развитием авиационной и космической техники все большее внимание привлекают методы, основанные на знании законов о распределении жидкости по объему бака, а также методы, обеспечивающие контроль без заполнения бакового пространства измерительными преобразователями. Так как баки находятся, как правило, на значительном расстоянии от приборного пульта, то измерительные преобразователи объема должны быть кроме того дистанционными.

Сформулированным требованиям отвечает дискретный пневмометрический преобразователь объема. Его работа основана на использовании различия в сжимаемости газа и жидкости.

По своей идее пневмометрические преобразователи наиболее просты, позволяют создать относительно точные измерители и дозаторы объема жидкости, при правильной оценке методической погрешности требуют минимальной информации о внешних условиях, обладают известной общностью, что является достаточным основанием для разработки научной основы их проектирования.

Основной задачей разработки пневмометрических преобразователей объема является выбор и обоснование измерительного и управляющего алгоритма, выбор структуры и параметров элементов, обеспечивающих минимум энергозатрат при максимальной точности, исходя из заданного числа измерений.

Неизвестное количество жидкости в сосуде может быть определено различными способами.

Для двух сосудов с объемами V_1 и V_2, первый из которых заполнен жидкостью с объемом $V_ж$, справедливо соотношение

$$V_ж = V_1 - \frac{P_2 - P_3}{P_3 - P_1} V_2;$$

где P_1, P_2 — исходные давления газа в сосудах V_1 и V_2 соответственно;

P_3 — давление образовавшейся газовой смеси, когда объемы V_1 и V_2 соединены.

Если при тех же исходных условиях сосуды соединены при помощи управляемого вентиля в течение времени t_1, то

$$V_ж = V_1 - \frac{P_1}{P_3 - P_1} \int_0^t W_{p_1}(\tau)\, d\tau;$$

где W_{p1} — секундный объемный расход газа при разряде.

В данном случае мерой неизвестного объема жидкости может служить или время разряда t при фиксированном перепаде давления в контролируемом сосуде $P_3 - P_1$ или величина этого перепада давления при фиксированном времени разряда t.

Процесс зондирующего разряда газа можно прекратить, когда приращение давления $\Delta P_1 = P_3 - P_1$ в контролируемом сосуде достигнет заданной величины. В этом случае для статики

$$\Delta P_1 (V_1 - V_ж) = \Delta P_2 V_2.$$

Анализ показал, что способ измерения объема жидкости, реализующий это соотношение, является наиболее перспективным как с точки зрения числа измерений при ограниченном ресурсе зондирующего газа, так и с точки зрения малого влияния на результат измерения параметров окружающей среды (в частности, температуры).

Принципиальная схема реализации этого варианта пневмометрического метода измерения объема жидкости приведена на рис. 1.

На схеме приведены следующие основные элементы устройства: контролируемый, эталонный и запоминающий сосуды, имеющие объемы соответственно V_1, V_2 и V_3; электропневматические клапаны ЭПК-1, ЭПК-2, служащие для переключения пневматических цепей при зондирующем разряде газа из эталонного сосуда на контролируемый; разрядная шайба РШ, служащая для замедления кондирующего разряда; дифференциальный манометр ДМ, измеряющий изменение давления ΔP_2 в эталонном сосуде; манометрическое электроконтактное реле давления РД; клапан избыточного давления КИД; логический релейный блок управления процессом измерения.

В исходном состоянии эталонный сосуд при помощи ЭПК-1 отключен от контролируемого сосуда; эталонный и запоминающий сосуды при помощи ЭПК-2 соединены между собой. Давление газа, заполняющего эталонный и запоминающий сосуды, $P_{эт} = P_{зап} = P_2$; давление газовой подушки в контролируемом сосуде P_1, причем $P_2 \gg P_1$.

При нажатии кнопки «Пуск» блока управления начинается зондирующий разряд газа. При этом осуществляется следующая последовательность переключений.

1. Перекрывается электропневматический клапан ЭПК-2, изолируя запоминающий сосуд от эталонного.

2. После перекрытия ЭПК-2 с некоторой задержкой порядка 0,1 сек, обусловленной наличием в блоке управления задерживающей цепочки (дроссель Др — конденсатор С), нужной для повышения надежности запоминания P_2, открывается электропневматический клапан ЭПК-1 и начинается разряд газа из эталонного сосуда через разрядную шайбу на контролируемый сосуд.

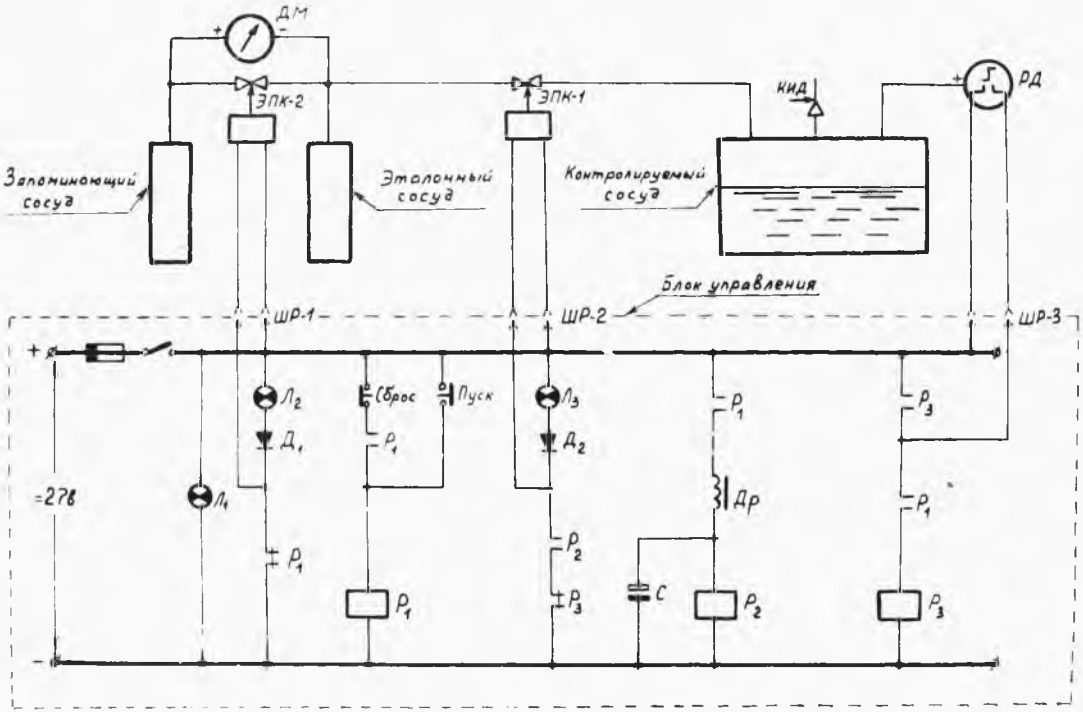
ДМ
ЭПК-2
ЭПК-1
КИД
РД
Запоминающий сосуд
Эталонный сосуд
Контролируемый сосуд
Блок управления
ШР-1
ШР-2
ШР-3
Л2
Сброс
Пуск
Л3
Д1
Р1
Д2
Р1
Р3
=27в
Л1
Др
Р1
Р1
Р2
Р3
С
Р2
Р3

Рис. 1.

3. Давление в контролируемом сосуде повышается до тех пор пока не сработает реле давления РД, имеющее фиксированную уставку $\Delta P_1 = 0{,}1$ а. и. При срабатывании РД закрывается ЭПК-1, прекращая разряд газа. При этом по шкале дифференциального манометра ДМ можно считать разность ΔP_2 первоначального и конечного давлений в эталонном сосуде.

4. При нажатии кнопки «Сброс» открывается ЭПК-2, давление в эталонном и запоминающем сосуде выравнивается, т. е. схема возвращается в исходное состояние.

В соответствии с известными законами газового состояния, измеряемый объем жидкости $V_ж$ в контролируемом сосуде может быть найден из соотношения

$$V_ж = V_1 - \frac{\Delta P_2}{\Delta P_1} V_2 = V_1 - kV_2. \qquad (1)$$

Так как $\Delta P_1 = \text{const}$ (по условию), то уравнение (1) шкалы пневмометрического измерителя объема является линейным и величина коэффициента k есть не что иное, как чувствительность пневмометрического измерителя.

В тех случаях, когда контролируемый сосуд находится не под атмосферным давлением, для определения приращения давления ΔP_1 следует применить еще один запоминающий сосуд, присоединенный при помощи дополнительного электропневмоклапана контролируемому сосуду и к реле давления РД (аналогично присоединению V_3 к эталонному сосуду и дифференциальному манометру ДМ). При этом выражение (1) остается в силе, так как в нем участвуют лишь приращения давлений, а не их абсолютные значения.

Следует отметить, что выражение (1), описывающее шкалу пневмометрического измерителя объема, справедливо лишь для адиабатного (при полном отсутствии теплообмена) или изотермического (при идеальном теплообмене) процесса разряда газа. В реальном случае зондирующий разряд не является ни адиабатным, ни изотермическим, занимая какое-то промежуточное положение между этими двумя крайними, идеализированными процессами (политропный процесс разряда с переменным показателем политропы). Этот факт обуславливает наличие методической погрешности при определении объема $V_ж$ в соответствии с (1).

Для оценки величины этой методической погрешности было выполнено на ЭЦВМ «Минск-22» математическое моделирование процесса зондирующего разряда газа, которое показало, что в каждом конкретном случае можно так выбрать режим измерения (сечение разрядной шайбы, объем эталонного сосуда V_2, давление P_2 и длину соединительных трубопроводов), что методическая погрешность (при единичном измерении) может быть сделана близкой к нулю. Если же режим измерения

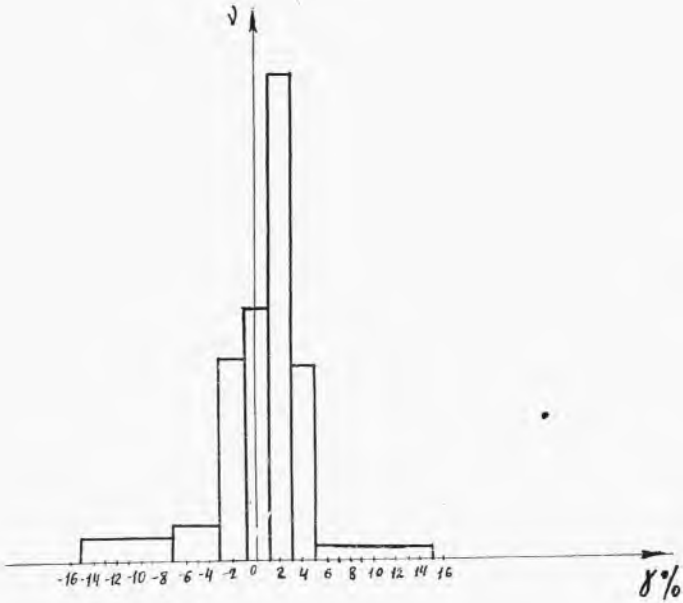

Рис. 2

выбирать без учета данных моделирования, то методическая погрешность может достигать десятков процентов.

По схеме, приведенной на рис. 1, была собрана и испытана экспериментальная установка, которая имеет следующие параметры:

полная емкость контролируемого сосуда $V_1 = 0{,}3$ м^3;

начальное давление P_1 в контролируемом сосуде — атмосферное;

объем эталонного сосуда $V_2 = 10^{-3}$м^3;

объем запоминающего сосуда $V_2 = 10^{-3}$м^3;

начальное давление P_2 в эталонном сосуде — 25 атм.;

установка ΔP_1 реле давления РД — 0,1 атм. РД имеет класс 1;

сечение разрядной шайбы РШ — 10^{-6}м^2;

вместо дифференциального манометра использовались два манометра избыточного давления класса 0,8 с пределом измерения 25 атм.;

клапан избыточного давления КИД имеет пружинную установку 1,5 атм.

Экспериментальное исследование проводилось в два этапа. На основании результатов первого этапа был определен репрезентативный объем выборки для заданной надежности стати-

стической оценки основных метрологических параметров экспериментальной установки. Получение этой выборки и оценка основных метрологических параметров явились содержанием второго этапа экспериментального исследования.

В результате эксперимента была получена гистограмма основной погрешности пневмометрического измерителя объема (рис. 2).

По причинам технического характера экспериментальная установка исследовалась в режиме, не совпадающем с оптимальным с точки зрения минимума методической погрешности. Значение основной погрешности, полученное экспериментально, составляет 8,5% (по отклонению в 3σ), значение этой же погрешности, полученное при математическом моделировании — 7,6%) собственно, здесь оценивалась не абсолютная величина методической погрешности, а ее вариации в течение цикла измерений, обусловленные неравновесными процессами теплопередачи, накоплением теплового дисбаланса от измерения к измерению).

В результате проведенного эксперимента были выявлены и устранены некоторые дополнительные погрешности, в частности, вызванные временным перекрытием (носящим случайный характер) отпускания и срабатывания электропневмоклапанов ЭПК-1 и ЭПК-2, для устранения чего и была в дальнейшем включена в схему блока управления замедляющая цепочка, состоящая из дросселя Др и конденсатора С.

Экспериментальные данные, в целом, хорошо согласуются с результатами математического моделирования, что, в частности, позволяет выразить уверенность в реальности создания пневмометрического измерителя объема класса не хуже 4—5%.

А. Н. Громов, В. Г. Завьялов

АВТОКОМПЕНСАЦИОННАЯ ДВУХКООРДИНАТНАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ УГЛОВ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРИЕНТАЦИИ ОБЪЕКТА

Существующие методы получения информации о пространственной ориентации объекта базируются, в основном, на гироскопических устройствах, выдающих электрический сигнал по каждой из координат отклонения объекта от плоскости горизонта.

Это приводит к тому, что для измерения и дальнейшей переработки приходящего сигнала по каждой координате необходимо наличие двух идентичных измерительных или силовых следящих систем (если необходима коррекция объекта в плоскости горизонта).