

УДК 681.5:629.76/78

М.А. Бондарь, канд. техн. наук В.И. Порубаймех,  
О.М. Дуплищева, А.А. Фахрудинов, С.С. Шевченко

## К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗНАЧЕНИЯ НЕГЕРМЕТИЧНОСТИ АГРЕГАТОВ АВТОМАТИКИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

*Предложен оперативный способ измерения негерметичности при испытаниях агрегатов автоматики, основанный на применении промышленных измерительных преобразователей перепада давления. Описана установка для реализации данного способа. Приведены результаты испытания электропневмоклапана изделия "Циклон-4".*

*Запропоновано оперативний спосіб вимірювання негерметичності під час випробувань агрегатів автоматики, що ґрунтується на застосуванні промислових вимірювальних перетворювачів перепаду тиску. Описано установку для реалізації цього способу. Наведено результати випробування електропневмоклапана виробу "Циклон-4".*

*The paper proposes an efficient method to measure non-hermeticity at tests of automated units. It is based on use of industrial measuring pressure drop converters. Description of unit to realize this approach is provided. The results of tests of electric pneumatic valve for Cyclone-4 are provided.*

Одной из основных технических характеристик агрегата автоматики (АА) пневмосистемы летательного аппарата (ЛА) является герметичность, которая в значительной мере определяет надежность работы и срок функционирования ЛА.

Герметичность – это способность оболочки, отдельных ее элементов и соединений препятствовать газовому обмену между средами, разделенными этой оболочкой. Требования к степени герметичности оболочки определяются исходя из условий обеспечения нормального течения рабочего процесса, для которого осуществляется герметизация [1]. Обеспечение герметичности особенно важно для АА, установленных на борту ЛА, поскольку ограничен запас рабочего тела (газов высокого давления). По значению негерметичности определяется надежность и длительность функционирования ЛА.

Целью испытания АА на герметичность является оценка степени соответствия его фактической герметичности требуемому значению, указанному в технических условиях на конструкцию. Герметичность  $\Gamma$  оценивается отношением фактического потока контрольной или рабочей среды через сквозные дефекты в рабочих условиях к предельно допустимому потоку среды из конструкции при тех же условиях.

Конструкция АА считается герметичной, если  $\Gamma \leq 1$ , и негерметичной, если  $\Gamma > 1$  [1].

В настоящее время для контроля герметичности АА, имеющих, как правило, допускаемую негерметичность в диапазоне 0,001...500 см<sup>3</sup>/с, применяются методы "мундштука" и "ротаметра" [2].

Метод "мундштука" заключается в том, что к месту контроля герметичности испытываемого АА, находящегося под рабочим давлением, подсоединяют трубопровод с внутренним диаметром 4 мм, свободный конец которого опускают в ванну с водой на глубину 3...5 мм. При наличии негерметичности АА по трубопроводу проходят воздушные пузырьки, попадающие в ванну с водой. Испытатель отсчитывает количество  $n$  воздушных пузырьков, прошедших по трубопроводу в течение определенного интервала времени  $t$ , например за 1 мин. Опытным путем было установлено, что суммарный объем  $7$  воздушных пузырьков составляет  $\sim 1$  см<sup>3</sup>. Затем по формуле  $\Gamma = n/(t \cdot 7)$  рассчитывается негерметичность АА, см<sup>3</sup>/с.

Недостаток этого метода заключается в отсутствии регистрации значения негерметичности на носителе информации и ограничении диапазона измеряемой негерметичности в пределах до 1 см<sup>3</sup>/с, т.е. до 7 воздушных пузырьков в секунду.

Метод "ротаметра" состоит в том, что к месту контроля герметичности испытываемого АА подсоединяют трубопровод с внутренним диаметром 4 мм, к свободному

концу которого подсоединяют ротаметр. Ротаметр заранее тарирован в заводской измерительной лаборатории, и к нему прилагается градуировочная характеристика  $Q = f(N)$ , где  $Q$  – объемный секундный расход воздуха,  $\text{см}^3/\text{с}$ ;  $N$  – количество делений шкалы ротаметра. Подают на вход испытываемого АА воздух высокого давления. В случае наличия негерметичности АА, находящегося под рабочим давлением, поплавков ротаметра поднимается вверх и заводится на определенной высоте. По верхнему срезу поплавка отсчитывают количество делений  $N$  на шкале ротаметра и затем по графику  $Q = f(N)$  определяют значение негерметичности АА.

Этот метод не обеспечивает достаточную точность измерения негерметичности АА, поскольку он связан с человеческим фактором, и, как правило, при наличии негерметичности поплавков ротаметра совершает колебательные перемещения, что затрудняет отсчет показаний. Кроме того, этот метод не обеспечивает регистрацию значения негерметичности на носителе информации.

Авторами статьи был предложен новый оперативный метод измерения негерметичности АА, основанный на принципе изме-

рения перепада давления газа на калиброванном трубопроводе, подсоединенном к месту контроля герметичности испытываемого АА. Перепад возникает при прохождении по трубопроводу объемного секундного расхода воздуха в случае негерметичности АА [3].

Способ реализуется следующим образом. К месту контроля герметичности испытываемого АА подсоединяют калиброванный трубопровод с измерительным преобразователем перепада давления, для которого предварительно была определена зависимость  $\Delta p = f(Q)$ , где  $\Delta p$  – перепад давления на калиброванном трубопроводе,  $\text{кгс}/\text{см}^2$ . Подают на вход испытываемого АА воздух под заданным давлением и измеряют в едином масштабе времени на едином носителе информации давление и перепад давления на калиброванном трубопроводе. Затем по графику зависимости  $\Delta p = f(Q)$  определяют значение негерметичности АА.

Авторами была разработана и создана установка для определения значения негерметичности АА предложенным способом [3]. Принципиальная схема установки показана на рис. 1.

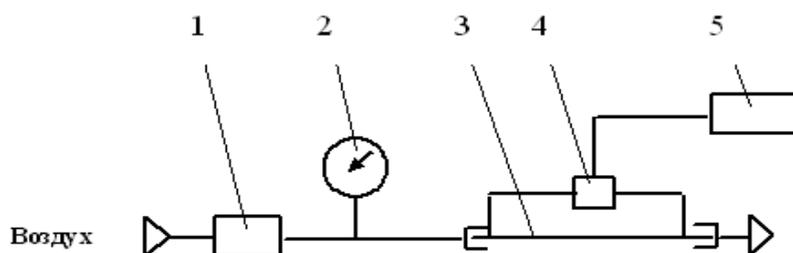


Рис. 1. Принципиальная схема установки для определения значения негерметичности АА:

- 1 – испытываемый АА; 2 – манометр; 3 – калиброванный трубопровод;
- 4 – измерительный преобразователь перепада давления "Метран-100-DD";
- 5 – измерительно-вычислительный комплекс МІС-300М

В установке был применен промышленный интеллектуальный измерительный преобразователь перепада давления серии "Метран-100-DD", предназначенный для измерения и непрерывного преобразования измеряемого параметра в унифицированный аналоговый токовый или цифровой

сигналы в стандарте протокола HART или в цифровой сигнал на базе интерфейса RS485. Преобразователь изготавливается компанией "Метран", г. Челябинск, РФ [4]. Сигналы датчика "Метран-100-DD" регистрировались измерительным вычислительным комплексом МІС-300М, изготов-

ливаемым ООО "Мера", г. Королев, Московская область, РФ.

Значение негерметичности АА определяют следующим образом. К испытываемому АА 1 подсоединяют магистраль воздуха высокого давления. К месту контроля герметичности АА подсоединяют калиброванный трубопровод 3. При наличии негерметичности АА на калиброванном тру-

бопроводе 3 возникает перепад давления, который измеряется преобразователем перепада давления 4 и регистрируется измерительно-вычислительным комплексом 5. На рис. 2 представлена установка.

Была проведена метрологическая аттестация предложенного способа на установке, принципиальная схема которой приведена на рис. 3.



Рис. 2. Установка для измерения негерметичности агрегатов автоматики летательных аппаратов

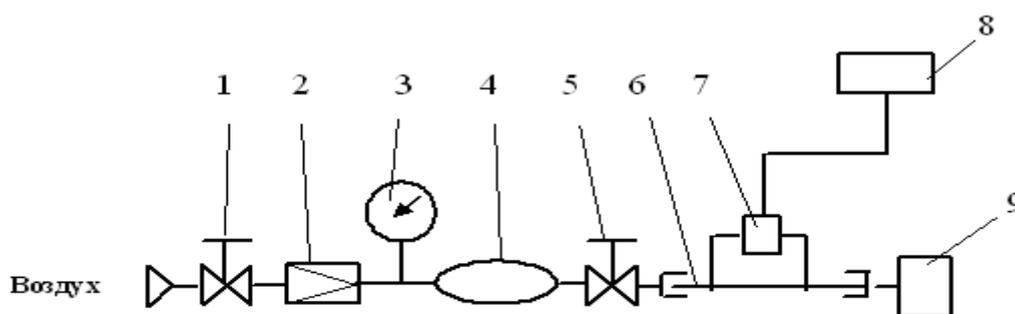


Рис. 3. Принципиальная схема испытательной установки:

- 1, 5 – вентили; 2 – редуктор давления; 3 – манометр; 4 – емкость;  
6 – калиброванный трубопровод  $d_y = 4$  мм,  $l = 295$  мм; 7 – измерительный преобразователь перепада давления "Метран-100-DD"; 8 – измерительно-вычислительный комплекс МІС-300М;  
9 – емкость с водой (ротаметр)

Метрологическая аттестация проводилась следующим способом. К выходу калиброванного трубопровода 6 подсоединяли емкость с водой 9 (при аттестации методом "мундштука" в диапазоне объемных секундных расходов воздуха  $0,05...7$  см<sup>3</sup>/с) или ротаметры РС-3а, РС-3 и РМ-2 (в диапазоне объемных се-

кундных расходов воздуха  $7...180$  см<sup>3</sup>/с). Затем открывали вентиль 1, подавали воздух высокого давления и настраивали редуктор 2 на требуемое давление, обеспечивающее заданный объемный секундный расход воздуха. Заполняли воздухом баллон 4, открывали вентиль 5 и измеряли пе-

репад давления на калиброванном трубопроводе 6 измерительным преобразователем перепада давления 7. Показания этого преобразователя регистрировали измерительно-вычислительным комплексом 8.

На рис. 4 приведены результаты измерения негерметичности методом "мундштука". Четко видно, что каждому воздушному пузырьку, проходящему по калиброванному трубопроводу 6, соответствует максимум напряжения  $U$  (В), которое получено от измерительного преобразователя 7. В данном случае в интервале времени, равном 10 с, просматривается 23 максимума сигнала (23 пузырька воздуха), что соответствует негерметичности  $0,33 \text{ см}^3/\text{с}$ .

Относительная погрешность определения значения негерметичности в диапазоне объемного секундного расхода воздуха  $0,3 \dots 0,50 \text{ см}^3/\text{с}$  составляет  $\pm 7,2\%$ . [5].

Результат метрологической аттестации метода "ротаметра" показан на рис. 5 в виде зависимости  $Q = f(U)$ , где  $Q$  – объемный секундный расход воздуха (негерметичность),  $\text{см}^3/\text{с}$ ;  $U$  – сигнал, выдаваемый измерительным преобразователем 7.

Относительная погрешность определения значения негерметичности в диапазоне объемного секундного расхода воздуха составляет  $\pm 4,7\%$  в диапазоне  $2,1 \dots 180 \text{ см}^3/\text{с}$  (метод "ротаметра") [6].

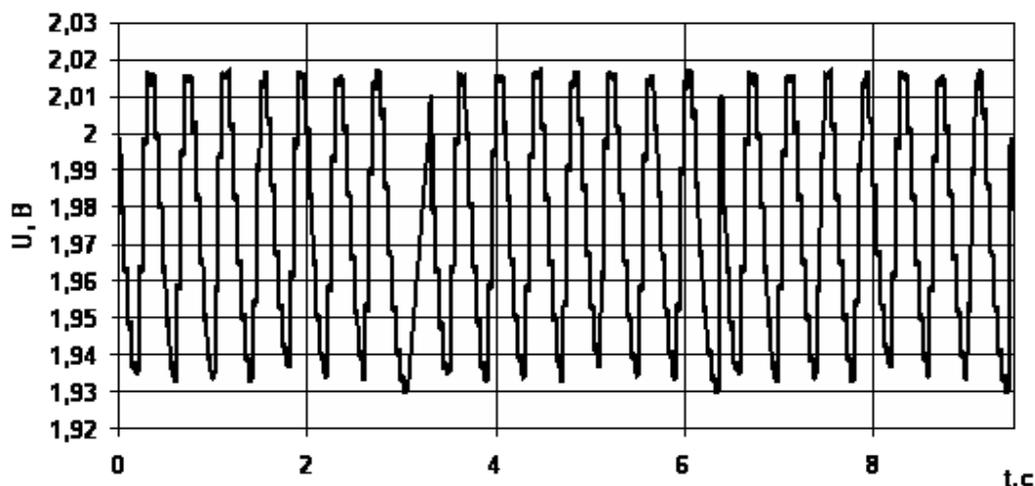


Рис. 4. Результаты измерения величины негерметичности методом "мундштука"

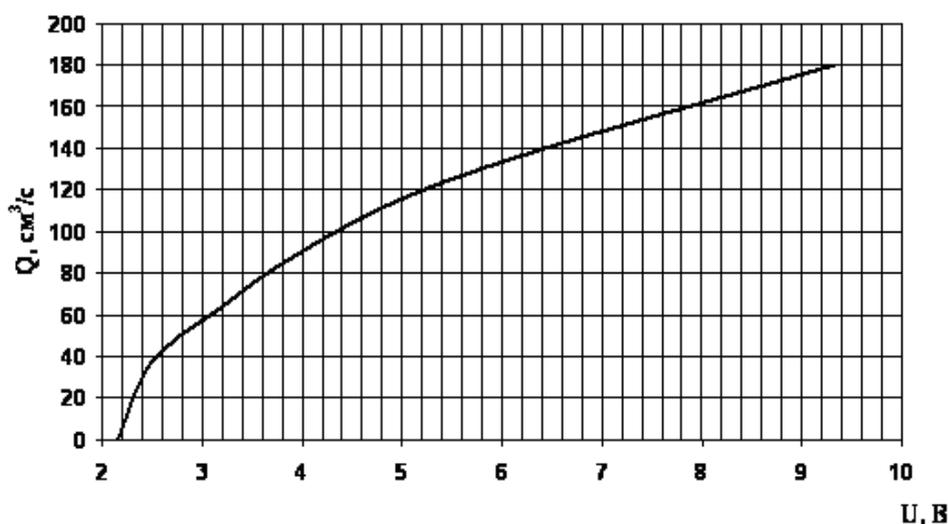


Рис. 5. График зависимости объемного секундного расхода воздуха от перепада давления на трубопроводе длиной 295 мм  $d_v=4$  мм (ротаметр РМ-2, зав. № 7100018)

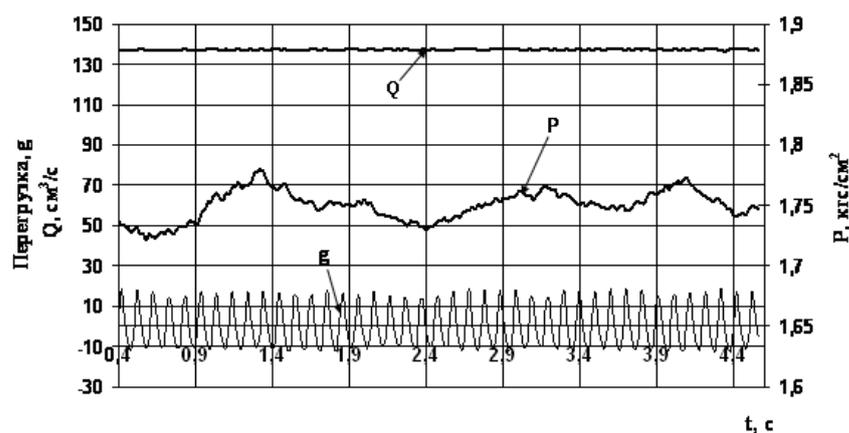


Рис. 6. Результаты испытания ЭПК 00.0357.0358.0000.00.0 на частоте 10 Гц при  $P = 1,75 \text{ кгс/см}^2$

Данный способ был применен при испытании на воздействие вибрационных нагрузок электропневмоклапана 00.0357.0358.0000.00.0. На вход клапана подавалось давление воздуха  $1,75 \text{ кгс/см}^2$ . При испытаниях измерялись вибрационная перегрузка  $g$ , частота и герметичность. Результаты испытания приведены на рис. 6.

Негерметичность ЭПК составила  $139 \text{ см}^3/\text{с}$  на частоте 10 Гц.

#### Список использованной литературы

1. Джур Е.А., Вдовин С.И., Кучма Л.Д. и др. Технология производства космических ракет. – Днепропетровск: ДГУ, 1992. – 181 с.

2. ОСТ 92-4291-75. Методы гидравлических и пневматических испытаний изделий на прочность и герметичность. Общие положения. – М., 1975. – С. 5–13.

3. Пат. 105811 Україна. МПК G01M 3/26 (2006/01). Спосіб для визначення величини негерметичності агрегатів автоматики та установка для здійснення способу/ Бондар М.А., Дупліщева О.М., Порубаймех В.І., Фахрудінов А.А., Шевченко С.С. Заявл. 28.05.2012; опубл. 25.06.2014, Бюл. №12.

4. Датчики давления "Метран": каталог/ ПГ "Метран" и Emerson Process Management. – Челябинск, 2008. – Вып. 7. – 339 с.

5. Аттестация методики выполнения измерений негерметичности агрегатов автоматики методом "мундштука": техн. отчет ОТ 530/74-2013/ ГП "КБ "Южное". – Днепропетровск, 2013. – 22 с.

6. Аттестация методики выполнения измерений негерметичности агрегатов автоматики при использовании ротаметров путем измерения перепада давления при проведении испытаний в отделе 77: техн. отчет ОТ 712/74-2014/ ГП "КБ "Южное". – Днепропетровск, 2014. – 11 с.

Статья поступила 23.05.2014