

Занин А.Н., Воронов К.Е., Пияков И.В.

## ПРИБОР ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ МЕСТА УТЕЧКИ ВОЗДУХА ИЗ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

При длительной эксплуатации космических аппаратов (КА) и орбитальных космических станций существует вероятность сквозного пробоя элементов конструкции частицами искусственного или естественного происхождения, а также образование трещин в результате различного рода напряжений и динамических нагрузок, вследствие чего происходит разгерметизация КА. Разработка аппаратуры, позволяющей быстро локализовать источники утечек воздуха из КА, является важной задачей как для международной космической станции, так и для некоторых других типов КА.

Для решения данной задачи предложен многопараметрический преобразователь струи газа. За основу был взят ионизационный датчик с диапазоном работы от  $10^{-4}$  до  $10^{-7}$  мм.рт.ст., что дает возможность использовать его для определения области пробоя (несколько квадратных метров). Для расширения динамического диапазона регистрации давления газа, выходящего из отверстия, в преобразователь введены термопара и микрофонный датчик. Использование термопары позволяет уточнить зону пробоя до сотен квадратных сантиметров. Микрофонный датчик локализует течь с точностью до нескольких миллиметров.

Преобразователь параметров струи газа из КА (рис. 1) содержит источник электронов 1 (электронная пушка), выгалькивающую сетку 2, заземляющие сетки 3 и 4, отклоняющие пластины 5 с поперечным электрическим полем, приемник ионов 6, генератор изменяемого

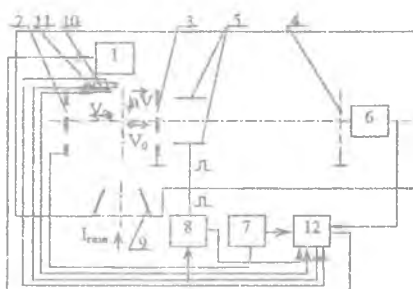


Рис. 1.

во времени выталкивающего импульса 7, импульсный источник 8 для создания отклоняющего электрического поля, приемную камеру потока газа из отверстия 9, микрофонный датчик 10, термопарный датчик 11, блок обработки, питания и индикации 12.

Эксперименты выполнены с помощью разработанного стенда. В вакуумной камере с установленным в ней управляемым натекателем на пути потока воздуха расположены микрофонный датчик, ионизационный и термопарный датчики, выходы которых соединены с блоком питания, усилителем сигналов и индикации. Поток воздуха формируется с помощью нескольких капилляров, а время напуска – от датчика времени.

Измерения характеристик натекающего в камеру воздуха проводились с помощью указанных датчиков. Тарировка датчиков проводилась с помощью стандартного измерителя давления типа ВИТ-2. Контроль внутреннего диаметра капилляров осуществлялся с помощью микроскопа. На рис.2 показаны графики зависимости давления потока  $p$  от расстояния по нормали до источника натекания, на рис.3 – графики зависимости давления потока  $p$  от углового распределения потока газа.

Как видно из этих графиков, при наличии перед источником утечки преграды в виде электровакуумной термоизоляции (ЭВТИ) максимум потока сильно сглажен, так как газ распространяется между слоями ЭВТИ и выходит во внешнюю среду не из одной точки, а с поверхности ЭВТИ радиусом порядка 200–500 мм. Эксперимент показывает, что величина давления потока в этом случае слабо зависит от углового распределения. На рис.4 приведены зависимости концентрации воздуха от расстояния  $R$  до источника утечки по нормали к нему.

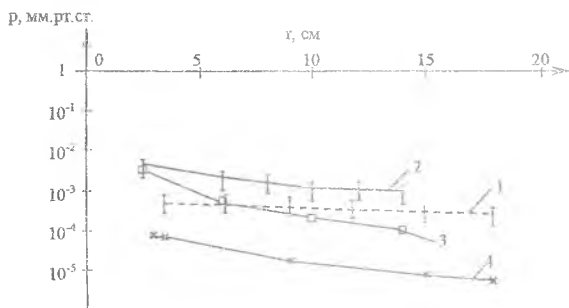


Рис.2. 1, 2 – экспериментальные зависимости давления потока  $p$  от расстояния по нормали к источнику утечки до источника с ЭВТИ и без ЭВТИ, соответственно; 3, 4 – теоретические зависимости давления потока  $p$  от расстояния по нормали до источника без ЭВТИ и с ЭВТИ, соответственно. Параметры источника: длинный канал с  $d=0,55$  мм и  $L=42$  мм; температура 293К; тип газа – воздух ( $M=29$  г/моль), давление внутри вакуумной камеры  $4 \cdot 10^{-3}$  мм.рт.ст.

Расхождения между экспериментальными и теоретическими данными объясняются тем, что в эксперименте использовалась вакуумная камера ограниченных размеров ( $0,15 \text{ м}^3$ ). Это привело к тому, что датчики фиксировали не только прямой поток через отверстие, но и вторичные потоки, возникающие в результате отражений от стенок камеры. С целью уменьшения влияния отраженных молекул на показания датчиков все измерения проводились в момент срабатывания натекателя.

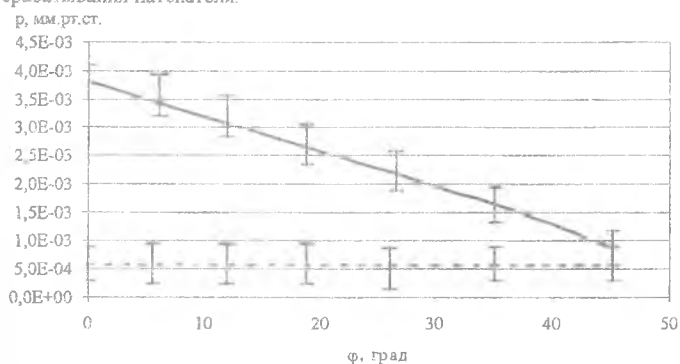


Рис.3. График зависимости давления потока  $p$  от углового распределения

Различие между экспериментом и теорией, в случае натекания воздуха через ЭВТИ, объясняется рядом допущений, принятых при разработке ее математической модели и может быть уменьшено путем уточнения по результатам экспериментов математической модели, проведения экспериментов с меньшей погрешностью, а также использования вакуумной камеры большего объема.

Как видно из экспериментальной характеристики распределения потока воздуха от угла (рис.3), при  $30^\circ$  давление потока воздуха уменьшается в два раза. Исходя из этого и учитывая вторичные потоки, в теоретических расчетах было принято, что форма струи воздуха – конусообразная с углом раскрытия примерно  $60^\circ$ . На рис.3 пунктирной линией показан график зависимости давления потока от углового распределения с учетом ЭВТИ, установленной перед обшивкой КА.

На основе разработанной модели собственной внешней атмосферы (СВА) КА проанализированы возможности применения различных датчиков. Из рис.4 видно, что используемые датчики перекрывают весь диапазон. Ионизационный датчик работает при концентрации молекул воздуха в СВА  $10^{13} \dots 10^{11} \text{ 1/см}^3$ , при увеличении концентрации до  $10^{15} \text{ 1/см}^3$  исполь-

зуется термопарный датчик, а при более высоких значениях концентрации используется пьезоэлектрический датчик (микрофонный). Учитывая разлет молекул, истекающих из отверстия в корпусе КА, можно определить диапазон расстояний работы каждого датчика – ионизационный до 5 м, термопарный до 1,2 м, пьезоэлектрический до нескольких сантиметров. Расчеты проводились, исходя из условия, что размеры отверстия не превышают 1 мм.

Таким образом, при данном сочетании датчиков реальной является возможность обнаружения места утечки при использовании ионизационного датчика для локализации места до нескольких квадратных метров, термопарного – до сотен квадратных сантиметров, пьезоэлектрического – до нескольких квадратных сантиметров.

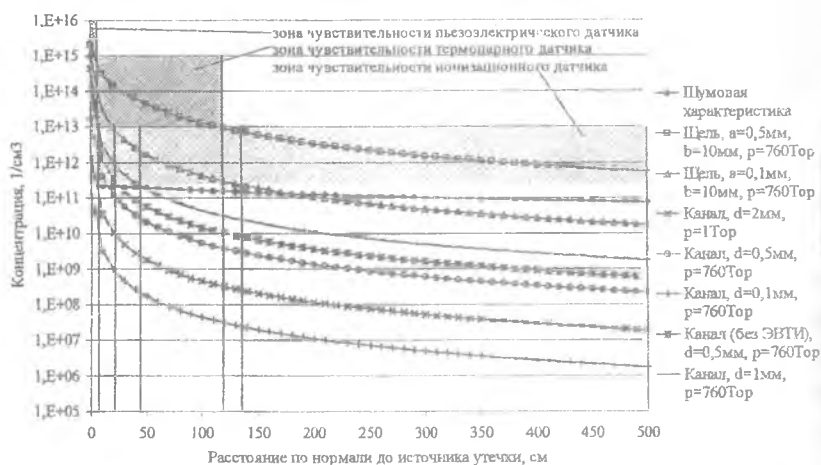


Рис. 4. Зависимости концентрации  $n$  воздуха от расстояния  $R$  по нормали к источнику утечки до источника утечки. Зоны чувствительности различных датчиков. Обшивка КА покрыта ЭВТИ. Параметры КА: объем  $180\text{ м}^3$ , температура  $293\text{ К}$ , тип газа – воздух ( $29\text{ г/моль}$ ), давление внутри КА  $p$ , толщина обшивки КА  $2\text{ мм}$ . Шумы –  $10^{-5}\text{ мм.рт.ст.}$  при  $r = 20\text{ см}$ .

#### Библиографический список

1. Грошковский Я. *Техника высокого вакуума*. М : Мир, 1975.
2. Е. С. Фролов, В. Е. Минайчев и др. *Вакуумная техника*. М.: Машиностроение,

3. Патент № 2112946 "Способ контроля герметичности в атмосферных условиях крупногабаритных космических аппаратов" Липняк Л. В., Олышанский В. А., Щербаков Э. В. G01M3/00, опублик. 06.10.98.

4. Патент № 2122257 "Пылеударный масс-спектрометр" Семкин Н. Д., Воронов К. Е. H01J49/40, опублик. 20.11.98, БИ №32.

УДК 629.7.017.1

Каргин Н.Т., Юмашев Л.П.

### МОДЕЛЬ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СФЕРИЧЕСКОЙ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИЦЫ С ПЛАСТИНОЙ ПОД УГЛОМ

В основу модели высокоскоростного соударения сферической механической частицы с пластиной положено понятие сопротивления, действующего на частицу-ударник при ее проникновении в материал пластины, определяемого совместным действием сопротивления материала преграды пластическому деформированию и сопротивления, обусловленного гидродинамическим давлением на поверхность головной сферы.

Величина давления - сопротивления внедрению, действующего на поверхность взаимодействия имеет вид (рис. 1):

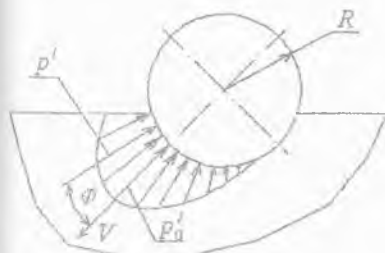


Рис. 1

$$P' = \int_{(F)} dP' = \int_R p' dF, \text{ где } p' = p'_0 \cdot \cos^2 \varphi,$$

$$p' = \left( HB \cdot K_d + \frac{\rho_n \cdot V^2}{2} \right) \cdot \cos^2 \varphi,$$

$HB$  - твердость материала пластины по Бринеллю,  $\rho_n$  - плотность материала пластины,

$V$  - скорость взаимодействия,  $\cos^2 \varphi$  - закон распределения давления по поверхности