

импульсы необходимы для рассмотрения одной строки.

Информационный стенд предназначен для наглядной демонстрации прохождения сигналов по различным блокам генератора телевизионных сигналов.

Список использованных источников

1. Ю.Чирков, В.Ларионов, А.Дитковский. Универсальный генератор испытательных телевизионных сигналов. – Радиолобитель, 1999, № 5, С. 3-8
2. ГОСТ 7845-92. Система вещательного телевидения. Основные параметры. Методика измерений.
3. Однокристалльные микроконтроллеры MICROCHIP: PIC16СХ Пер. с англ.; Под ред. А.Н.Владимирова. – Рига: ОРМІХ, 1996, 120л.
4. Чирков Ю., Ларионов В. Генератор испытательных телевизионных сигналов на одной ИМС. – Радиолобитель, 1997, №7, С.5-6.
5. PHILIPS SEMICONDUCTOR. Preliminary specification, SECAM encoder TDA8505, July 1994.
6. MOTOROLA SEMICONDUCTOR. Application Note of the MC 1377 color encoder (AN932).

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УТЕЧКИ ГАЗА ИЗ МОДУЛЯ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Ананьин А. А., Занин А. Н., Сёмкин Н. Д.

При длительной эксплуатации космических аппаратов (КА), орбитальных космических станций существует вероятность сквозного пробоа элементов конструкции частицами искусственного или естественного происхождения, а также образование трещин в результате различного рода напряжений и динамических нагрузок, вследствие чего происходит разгерметизация КА. Обнаружение утечек воздуха из КА представляет значительные механические трудности в связи с тем, что космическая станция имеет большие площади, а часть поверхности модулей космических станций покрыта электровакуумной теплоизоляцией (ЭВТИ). Таким образом, разработка аппаратуры, позволяющей быстро локализовать источники утечек воздуха из КА, является важной задачей, как для международной космической станции, так и для некоторых типов КА, что требует создания расчетных моделей объекта исследования (источника утечки газа из модуля КА) [1, 5].

При обнаружении утечки воздуха из модуля КА практический интерес представляют: поток газа через отверстие в плоской бесконечно тонкой и неограниченной по размерам пластине, в длинных и коротких

каналах с круговым и некруговым сечением, а также поток газа через щель и через ЭВТИ. В ходе данной работы разработаны модели всех вышеупомянутых случаев. Результатом моделирования являются зависимости параметров газовых струй от их характеристик с учетом динамики модуля КА.

Для случая пробоя плоской бесконечно тонкой и не ограниченной по размерам пластины, в которой имеется отверстие площадью A_0 , поток газа с учетом уравнения Менделеева-Клапейрона будет равен:

$$I = m_0 k^{-1} T^{-1} v_{ap} A_0 (V^{-1} M^{-1} R T m - p_{вых}), \quad (1)$$

где R – универсальная газовая постоянная, ($R = 62,36 \cdot 10^3 \text{ Тор} \cdot \text{см}^3 \cdot \text{К}^{-1} \cdot \text{моль}^{-1}$); T – абсолютная температура; m_0 – масса одной молекулы; k – постоянная Больцмана; V – объем КА; M – молекулярная масса газа;

$v_{ap} = \sqrt{\frac{8 \cdot RT}{\pi \cdot M}}$ – средняя арифметическая скорость молекул в газе [3]; m –

масса газа в КА; $p_{вых}$ – давление снаружи КА.

Для отверстия произвольной формы в стенке конечных размеров площадь A_0 , следует заменять эффективной площадью $A_{эф}$, зависящей от параметров отверстия и стенки. Учитывая, что при истечении газа его масса в модуле уменьшается, после некоторых преобразований можно получить выражение, описывающее давление в КА в виде:

$$p = (p_0 - p_{вых}) \exp(-A_{эф} v_{ap} V^{-1} \tau) + p_{вых}. \quad (2)$$

и поток

$$I = m_0 k^{-1} T^{-1} v_{ap} A_{эф} (p_0 - p_{вых}) \exp(-A_{эф} v_{ap} \tau V^{-1}). \quad (3)$$

где m_1 – начальная масса газа в КА; τ – время, прошедшее с начала утечки воздуха из КА.

Проводимость длинных и коротких каналов с круговым и некруговым сечением при молекулярных условиях. Длинный канал определяется тем, что его длина много больше линейных размеров сечения. Для такого типа канала

$$p = (p_0 - p_{вых}) \exp\left(-\frac{RT \pi D^3}{MV v_{ap} L} \tau\right) + p_{вых}, \quad (4)$$

тогда поток

$$I = \frac{\pi D^3}{v_{ap} L} (p_0 - p_{вых}) \exp\left(-\frac{RT \pi D^3}{MV v_{ap} L} \tau\right). \quad (5)$$

Последняя формула справедлива при условии, что проводимость системы определяется проводимостью канала, то есть $G \gg G_L$.

Проводимость канала с некруговым сечением можно рассчитать, заменяя некруговое сечение круговым с такой же площадью. Если это невозможно, то применяют специальные формулы.

Вязкостные условия будут иметь место при давлениях внутри КА свыше 10 Тор. В вязкостных условиях скорость газа будет определяться его вязкостью, причем, чем ближе молекулы находятся к стенке, тем меньше их скорость v_e . Поток газа через такой канал [3]:

$$I = (p^2 - p_{\text{вых}}^2) \frac{m_0 \pi D^4}{kT 256\eta L} \quad (7)$$

где η – динамический коэффициент вязкости газа.

При больших диаметрах отверстий (когда линейные размеры сечения канала сравнимы с его длиной) будут иметь место короткие каналы. Для нахождения потока через короткий канал методом последовательных приближений решают систему уравнений потока и проводимости [4].

Получим

$$p = \left\{ 2 \left[1 - \frac{p_0 - p_{\text{вых}}}{p_0 + p_{\text{вых}}} \exp \left(-2 p_{\text{вых}} \frac{m_0 \pi R D^4}{kMV 256\eta L} \tau \right) \right]^{-1} - 1 \right\} p_{\text{вых}} \quad (8)$$

$$I = \left\{ \left[\frac{2}{1 - \frac{p_0 - p_{\text{вых}}}{p_0 + p_{\text{вых}}} \exp \left(-2 p_{\text{вых}} \frac{m_0 \pi R D^4}{kMV 256\eta L} \tau \right)} - 1 \right]^2 - 1 \right\} p_{\text{вых}}^2 \frac{m_0 \pi D^4}{kT 256\eta L} \quad (9)$$

Промежуточные условия имеют место при давлениях 1–10 Тор. Для них применяют эмпирические формулы, основанные на комбинации формул, полученных для молекулярных и вязкостных условий.

Щель – наиболее вероятный тип отверстия, образующегося при повреждении обшивки КА в результате старения конструкции или каких-либо импульсных нагрузок.

При истечении газов из отверстий возможны три варианта, при которых наблюдаются молекулярные, вязкостные, промежуточные условия течения.

В рассматриваемом случае отверстие представляет собой щель. Для упрощения выкладок, под щелью будем понимать отверстие прямоугольной формы с линейными размерами $b \geq L \gg a$, где a – ширина узкой стенки ($a = 2l$); b – ширина длинной стенки; L – длина щели.

Рассмотрим молекулярные условия истечения газа через щель. В случае $\lambda \gg b \geq L$, молекулы газа движутся индивидуально; часть из них движется непосредственно по трубе, не касаясь стенок, другие же соударяются со стенками и перемещаются зигзагообразно. Ввиду того, что период пребывания на стенках имеет конечную величину, молекула теряет часть скорости в направлении оси канала x , что равнозначно трению газа

о стенки.

Для рассматриваемого случая

$$p = (p_0 - p_1) \exp\left(-\frac{I}{2} \cdot \frac{a^2 b^2}{a+b} \cdot \frac{1}{v_{ap} m_0} \cdot kT \frac{RT}{L MV} \tau\right) + p_1, \quad (10)$$

$$I = \frac{1}{2} \cdot \frac{a^2 b^2}{a+b} \cdot \frac{1}{v_{ap}} \cdot (p_0 - p_1) \exp\left(-\frac{I}{2} \cdot \frac{a^2 b^2}{a+b} \cdot \frac{1}{v_{ap} m_0} \cdot kT \frac{RT}{L MV} \tau\right) \frac{1}{L} \quad (11)$$

В вязкостных условиях течения газа через щель сопротивление течению газа определяется его вязкостью. Молекулы газа, находящиеся вблизи стенок трубопровода, имеют меньшую скорость, чем молекулы, находящиеся вблизи оси. Составляющая v_x скорости молекул газа в первом приближении равна нулю.

Таким образом, общий поток газа при давлении p_0 определяется уравнением

$$I = p_0 \left(\frac{dV}{d\tau}\right)_{p_0} = p_0 \frac{b^2 (p_2 - p_1)}{\eta L} \left\{ \frac{a^2}{8} + \frac{b}{2} \left[b \ln \left(\frac{a/2 + b}{b} \right) - \frac{a}{2} \right] \right\}. \quad (12)$$

Изменение давления в системе во времени

$$p = \frac{2p_1}{\left[i - \frac{p_0 - p_1}{p_0 + p_1} \exp\left(-2p_1 \cdot \frac{RT}{MV} \cdot \frac{b^2}{2\eta L} \left[\frac{a^2}{8} + \frac{b}{2} \left(b \ln \left(\frac{a/2 + b}{b} \right) - \frac{a}{2} \right) \right] \frac{m_0}{kT} \tau \right) \right]} - p_1. \quad (13)$$

Приведем модель расчета потока газа через ЭВТИ. ЭВТИ представляет собой слоистую структуру. Первый и последний слой – синтетическая ткань, при расчетах предполагается, что она представляет собой ячеистую структуру. Отверстия имеют квадратную форму со стороной 100 мкм, расстояние между отверстиями 100 мкм, длина канала за отверстием (толщина ткани) 100 мкм. Остальные слои представляют собой полимерные пленки, с отверстиями. Отверстия имеют диаметр 2 мм и расположены на расстоянии 1 см друг от друга. Толщина пленки 100 мкм и в расчетах ей пренебрегают. Расстояние между слоями ЭВТИ и между ЭВТИ и обшивкой КА считается равным 0,5 мм.

Алгоритм расчета потока (распределение потоков) газа через ЭВТИ представлен ниже. В расчетах $\Delta t = 0,00002$ с. Предполагается, что под ЭВТИ образовалось отверстие (щель) в обшивке КА.

1. Рассчитывается масса газа прошедшая через отверстие в обшивке КА для каждого из слоев за время Δt .

Вся поверхность разбивается на квадраты 1×1 см (в таком квадра-

те находится в среднем одно отверстие диаметром 2мм). Далее все ячейки объединяются в кольца шириной 1см, и в каждом кольце рассматривается только одна ячейка.

2. Рассчитывается поток I газа через отверстие из данного слоя в следующий.

Определяется изменение массы в данной ячейке за время Δt :

$$\Delta m = I \Delta t.$$

Определяется давление в рассматриваемой ячейке текущего слоя (i) и слоя (i+1).

Рассчитывается среднее давление i-ого и (i+1)-ого колец:

$$p = (p_i V_i + p_{i+1} V_{i+1}) / (V_i + V_{i+1}), \text{ где } V - \text{объем колец.}$$

Давление в этих кольцах приравнивается p .

Вычисления повторяются для всех других Δt .

Для проверки разработанных моделей были выполнены эксперименты с помощью разработанного стенда (рис.1). В вакуумной камере с установленным в нее 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 формировался с помощью нескольких капилляров, а время напуска – от времязадающего блока.

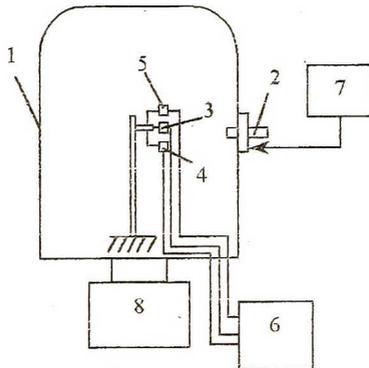


Рисунок 1.

1 – вакуумная камера; 2 – натекатель; 3 – микрофонный датчик; 4 – термопарный датчик; 5 – ионизационный датчик; 6 – блок питания, усиления и индикации; 7 – блок управления натекателем.

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; рис.2 – экспериментальная и теоретическая зависимости давления потока

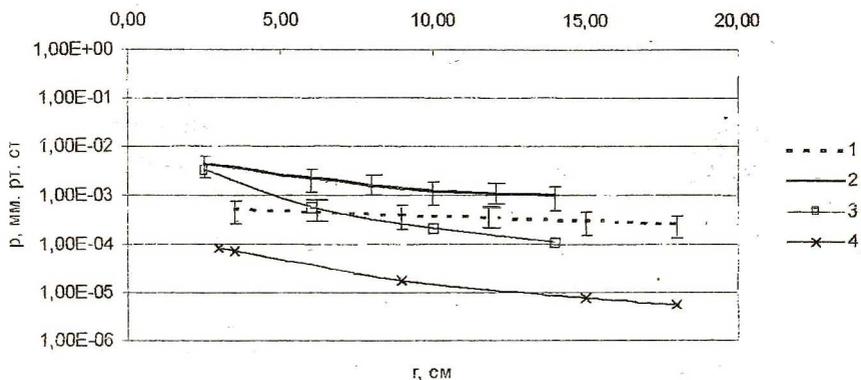


Рисунок 2.

1, 2 - экспериментальная зависимость давления потока p от расстояния по нормали к источнику утечки до источника с ЭВТИ и без ЭВТИ соответственно; 3, 4 - теоретическая зависимость давления потока p от расстояния по нормали до источника без ЭВТИ и с ЭВТИ соответственно.

p от расстояния по нормали к источнику утечки до источника с ЭВТИ и без ЭВТИ, на рис.3 – зависимости давления потока p от углового распределения потока газа; на рис.4 – зависимости давления потока p от величины потока воздуха через отверстие.

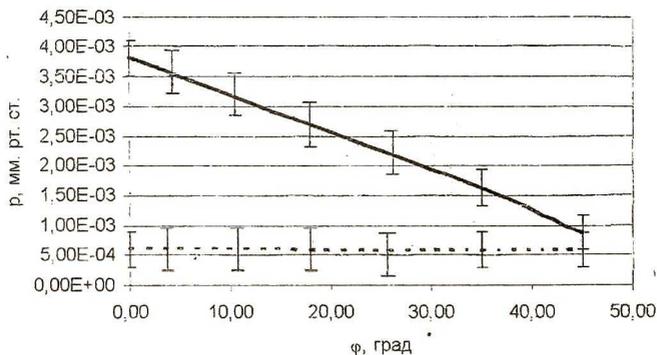


Рисунок 3.

График зависимости давления потока p от углового распределения. Пунктирной линией показан график зависимости с ЭВТИ в качестве преграды перед потоком.

Как видно из графиков (рис.2-4) при наличии перед источником утечки преграды в виде 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 мало зависит от углового распределения.

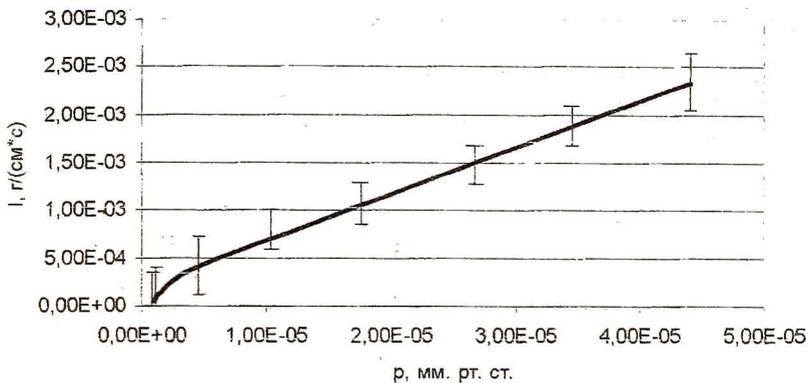


Рисунок 4.

Зависимость давления потока p от величины натекания воздуха через отверстие, полученная с помощью микрофонного датчика.

Расхождения между экспериментальными и теоретическими данными объясняются тем, что в эксперименте использовалась вакуумная камера ограниченных размеров ($0,14 м^3$). 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.

Различие между экспериментом и теорией, в случае натекания воздуха через ЭВТИ объясняется рядом допущений при создании её 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° давление потока воздуха падает в два раза. Исходя из этого и учитывая вторичные потоки, было принято для теоретических расчетов, что форма струи воздуха конусообразная с углом раскрытия $\sim 60^\circ$ [2].

Список использованных источников

1. Аш Ж. Датчики измерительных систем. М.: Мир, 1992 – 424 с
2. Бронштейн И. Н.; Семендяев К. А. Справочник по математике для инженеров и учащихся

- ся втузов. М.: Наука 1982 – 544 с
3. Грошковский Я. Техника высокого вакуума. М.: Мир, 1975 – 622 с.
 4. Е.С.Фролов, В.Е.Минайчев и др. Вакуумная техника. М.: Машиностроение. 1992 – 480 с.
 5. Патент № 2112946 “Способ контроля герметичности в атмосферных условиях крупногабаритных космических аппаратов” Липняк Л. В., Олышанский В. А., Щербаков Э. В. G01M3/00, опубл. 06.10.98
 6. Патент № 2122257 “Пылеударный масс-спектрометр” Семкин Н. Д., Воронов К. Е. H01J49/40, опубл. 20.11.98, БИ №32.
 7. Теллотехнический справочник. Том 1 // под. ред. И. И. Айзенштат. М.: Госэнергоиздат, 1957 – 728 с.

ОПТИМИЗАЦИЯ И СИНТЕЗ ИОННЫХ ЛИНЗ С ПОМОЩЬЮ ЭВМ

Мясников С.В., Помельников Р.А.

Создание ионных оптических систем с наперед заданными свойствами и столь малыми аберрациями, насколько это возможно (аберрации являются фундаментальным ограничением при создании любой лучевой оптики) является в настоящее время наиболее развивающейся областью аналитического приборостроения. Сложность решаемой задачи приводит к формализации задачи для решения ее на ЭВМ.

Существуют два совершенно различных подхода к оптимизации ионных линз: анализ и синтез.

Метод анализа - это метод проб и ошибок. Этот метод может дать быстрый и надежный результат, если удалось угадать приемлемый вариант конструкции до начала работ. Особенной сложностью является расчет электростатического поля, описываемого уравнением Лапласа. Оно может быть решено на основе аппроксимирования его сеточным уравнением (метод Либмана) или на основании метода зарядовой плотности (интегральный метод) [1,2]. Данный метод требует даже от пользователя программного обеспечения высокой квалификации в области ионной оптики и приборостроения, а также больших аппаратных затрат при нахождении поля с большой точностью ($\leq 1\%$).

Метод синтеза основан на выборе критерия, определяющего требуемую систему, в качестве начальных условий и попытаться найти такое распределение поля, создающего такие траектории, которое будет их реализовывать. Конечной задачей является синтез реальных конфигураций электродов, которые создают такое распределение поля. Рассмотрим необходимые задаваемые параметры и методы поиска структуры электростатического поля:

1. По заданному семейству траекторий движения иона и, используя методы решения обратных задач динамики, наиболее приемле-