

## РАСЧЕТ КОНЦЕНТРАЦИИ МОЛЕКУЛ ВОЗДУХА В ЗОНЕ УТЕЧКИ ИЗ ГЕРМЕТИЗИРОВАННОГО МОДУЛЯ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

В.А. Авдеев, К. Е. Воронов  
Самарский университет, г. Самара

Скорости соударения КА с метеорными телами и с объектами, входящими в состав космического мусора, лежат в диапазоне  $\sim 1-16 \text{ км}\cdot\text{с}^{-1}$ . При таких скоростях удара частицы с поперечными размерами более  $0,5-1 \text{ см}$  могут создавать сквозные пробойны в стенках КА и приводить к катастрофическим разрушениям. Удары о поверхность КА мелких частиц вызывают образование на поверхности кратеров и царапин, а при большом количестве ударов – заметную эрозию поверхности. Поэтому исследования явлений, возникающих при высокоскоростном соударении твердых тел, и разработка на основании результатов исследований методов защиты КА, а также методов регистрации и измерения параметров объектов, входящих в состав метеорной материи и космического мусора, являются весьма актуальными.

При обнаружении утечки воздуха из модуля КА практический интерес представляет поток газа через отверстие в плоской бесконечно тонкой и не ограниченной по размерам пластине.

Воспользовавшись основным законом термодинамики можно получить формулу для расчета потока газа через отверстие:

$$I = pk^{-1}T^{-1}v_{\text{cp}}m_0S, \quad (1)$$

где  $p$  – давление газа;  $k$  – постоянная Больцмана ( $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$ );

$v_{\text{cp}} = \sqrt{\frac{8}{\pi} \cdot \frac{RT}{M}}$  – средняя арифметическая скорость движения молекул в газе;

$S$  – площадь сечения;

В качестве исходных параметров для построения зависимости потока воздуха через отверстие от диаметра отверстия приняты:

$m_0 = 4,814 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$  – масса молекулы;

$M = 29 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$  – молярная масса вещества;

$p_0 = 101325 \text{ Па}$  – начальное давление в КА;

$p_{\text{вых}} = 1,45 \cdot 10^{-6} \text{ Па}$  – давление снаружи КА;

$T = 293 \text{ К}$  – исходная температура воздуха;

Для построения зависимости потока воздуха от расстояния до его источника, считаем источник газа (место утечки воздуха) точечным источником, размеры которого намного меньше расстояния от него до источника, а распространение воздуха будем считать равномерным в полупространстве во всех направлениях.

На рисунке 2 изображены зависимости при диаметрах 0,1 мм; 0,2 мм; 0,4 мм; 1 мм; 2 мм; 4 мм; 1 см; 2 см. На графике видно, что с увеличением диаметра отверстия увеличивается поток молекул воздуха.

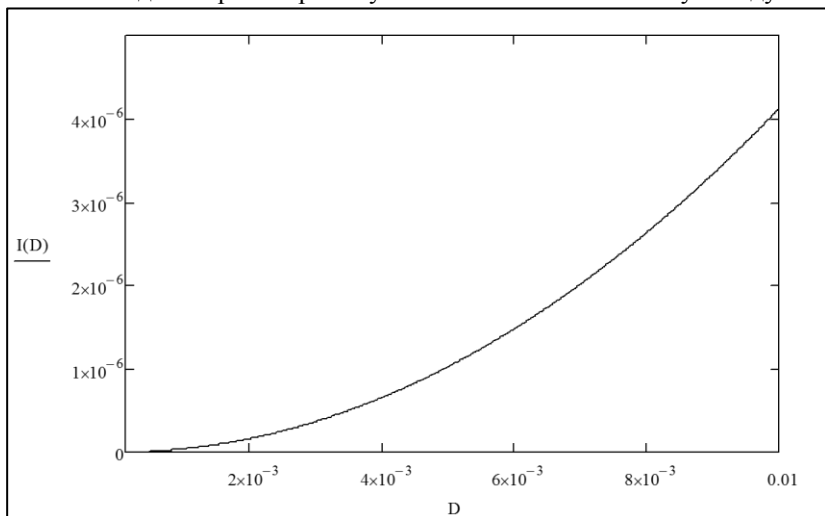


Рисунок 1—Зависимость потока воздуха через отверстие от его диаметра. Поток выражен в г/с, диаметр – в см.

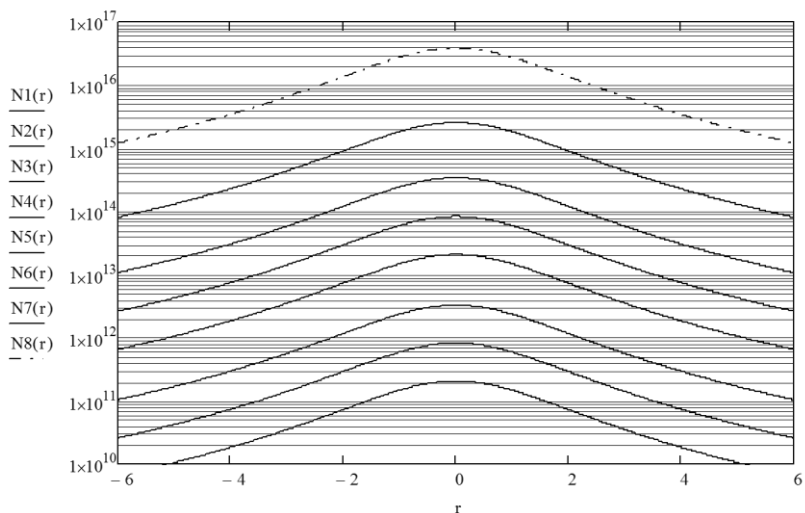


Рисунок 2—Зависимости количества молекул в единицу времени от смещения при различных диаметрах отверстий. Величина смещения отображена относительно исходного расстояния от источника течи до приемника z = 2м.

По результатам проведенных расчетов проведена оценка параметров потока истекающего газа, построены их графики зависимости и уточнены требования к системе определения места утечки газа.

Список использованных источников

1. Новиков, Л.С. Воздействие твердых частиц естественного и искусственного происхождения на космические аппараты [Текст] Учебное пособие/Л.С.Новиков. – М.: Университетская книга, 2009. - 104 с.

2. Drolshagen, G. Hypervelocity impact effects on spacecraft [Текст]/Gerhard Drolshagen//In: Proceedings of the Meteoroids 2001 Conference, 6 - 10 August 2001, Kiruna, Sweden. Ed.: Barbara Warmbein. ESA SP-495, Noordwijk: ESA Publications Division, ISBN 92-9092-805-0, 2001, p. 533 – 541.

УДК 544.654.2

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРООСАЖДЕНИЯ МЕТОДОМ ВЕРОЯТНОСТНЫХ КЛЕТОЧНЫХ АВТОМАТОВ**

А. С. Афанасьева

Самарский университет, г. Самара

Одним из технологических процессов создания микроэлектронных и микросистемных устройств является электроосаждение. Оно используется для получения многослойных печатных масок, осаждения золота на контакты, осаждения меди в качестве проводящих слоев и т. д. Одним из вариантов процесса является осаждение на немаetalлическую подложку с предварительно напыленным слоем металла [1].

На первом этапе электроосаждения происходит установление электрохимического равновесия и формирование двойного электрического слоя [2]. Поскольку концентрация ионов в тонком слое металла на катоде на порядок превышает концентрацию ионов в электролите, формирование ДЭС идет преимущественно путем перехода ионов металла в раствор. При этом в случае, когда пленка металла на катоде оказывается слишком тонкой и ДЭС не формируется полностью до ее растворения, дальнейшего электроосаждения не происходит [3,4].

Для рассмотрения процесса электроосаждения на микроуровне и получения возможности оценки минимально допустимой толщины изначально напыленной пленки была разработана и реализована модель на базе метода вероятностных клеточных автоматов.

Модель позволяет отследить влияние на протекание процесса приложенного внешнего напряжения и толщины напыленной пленки. В ходе работы были проведены численные эксперименты с целью