

УДК 502/504(15)

В.Ф. Фролов

ВОО «Аэрокосмическое общество Украины», Киев

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАССЫ ОБЛОМКОВ КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА

В статье предложен метод определения массы обломков космического мусора. Метод учитывает геометрические размеры, площадь поперечного сечения различных обломков, а также плотность материала из которого состоит конкретный обломок космического мусора.

Ключевые слова: космический мусор, поперечное сечение, радиолокационное сечение, плотность, масса.

Введение

Проблема наличия на многих орбитах остатков и частей разрушившихся космических аппаратов, закончивших свой жизненный цикл, а также частей ракет-носителей, топливных баков, элементов и узлов крепёжных систем, сброшенных в космическое пространство или образовавшихся после взрыва (случайного или преднамеренного) – одним словом космического мусора, как никогда актуальна в наше время. Существующие наземные системы слежения: радиолокационные и оптико-электронные, а также бортовые, расположенные на борту космических аппаратов, позволяют определять геометрические размеры, скорости, орбиты, радиолокационные сечения. Однако определение массы, как основной меры определяющей кинетическую энергию и силу разрушающей способности частицы космического мусора, ещё далеко от совершенства [1].

Целью работы является определение массы обломков космического мусора, учитывающего геометрические размеры и плотность обломка.

Основная часть

Так как кинетическая энергия частицы космического мусора является функцией её массы и скорости, то фактически масса становится достаточной мерой разрушающей способности любого объекта, обращающегося по орбите известной высоты. Однако определение массы обращающихся по орбите частиц малых размеров ещё не совсем изучено [1, 2]. Известны методы определения массы обломков по их физическим (геометрическим) размерам, но они могут быть использованы лишь для статистических оценок массы, особенно для частиц малых размеров [3, 4]. При этом, проблематичным является процесс определения радиолокационного сечения обломка и его состав. Известно, что на орбитах вокруг Земли реально функционирует около 1000 космических аппаратов. Большинство из них действует

в низкоорбитальной области и на геостационарной орбите (47% на низких орбитах и 42% на геостационарной орбите, а остальные 11% - на средних, высокоэллиптических и сверхвысоких). Однако по мере их «старения» и аварийных ситуаций: отказов аккумуляторных батарей, солнечных батарей, самопроизвольных и преднамеренных взрывов (для военных спутников) – они превращаются в космический мусор.

Распределение космических аппаратов по орбитам следующее [2]:

$H = 200 - 400$ км – пилотируемые МКС;

$H = 800 - 1000$ км – автоматические космические аппараты;

$H = 1900 - 20500$ км – орбиты навигационных систем GPS, ГЛОНАСС, GALILEO Sat (ЕКА);

$H = 35,785$ км – спутники связи, ретрансляторы, метеоспутники.

В каталогах NASA, в настоящее время, каталогизировано около 20 тысяч объектов космического мусора размером более 10 см. Каталог постоянно пополняется и совершенствуется и ежемесячно (по подписке) становится доступным для заинтересованных лиц.

Частицы мусора вращаются с огромными скоростями вокруг Земли (12 – 20 км/сек) и соударяясь ежегодно увеличивают свою плотность на 4% [2]. Это приводит к тому, что образующие «рои» представляют реальную угрозу безопасности космических полётов. Ведь кусочек алюминия диаметром 1 см в настоящее время невозможно обнаружить на низкой околоземной орбите, а он в то же время обладает такой же кинетической энергией, как типичная ручная граната [1]. Что уже говорить об обломках в виде ступеней ракет-носителей, топливных баков, крепёжных соединений, выброшенных в космическое пространство при расстыковки, утерянных инструментах (при выходе в открытый космос), а также самопроизвольно отсоединившихся элементов конструкции МКС. В общей сложности их масса

достигла величины 5000 тонн, а количество (включая и мелкие до 1 мм) – превышает триллион [1].

Ежегодный прирост космического мусора можно определить по формуле:

$$N = N_0 \exp(-bt) + (q/b) \cdot [1 - \exp(-bt)], \quad (1)$$

где q – скорость образования мусора; b – коэффициент пропорциональности; $(-bN)$ – скорость гибели (оседания в плотных слоях); N_0 – начальное количество мусора.

Высотное распределение каталогизированных обломков согласно каталога NORAD (NASA) представлено на рис. 1.

Зная теперь, каким образом определяется размер обломков космического мусора (с помощью радиолокационных, оптико-электронных и бортовых систем), и имея представление о присущих этому процессу ограничениях, перейдем к вопросу о расчете массы частиц мусора.

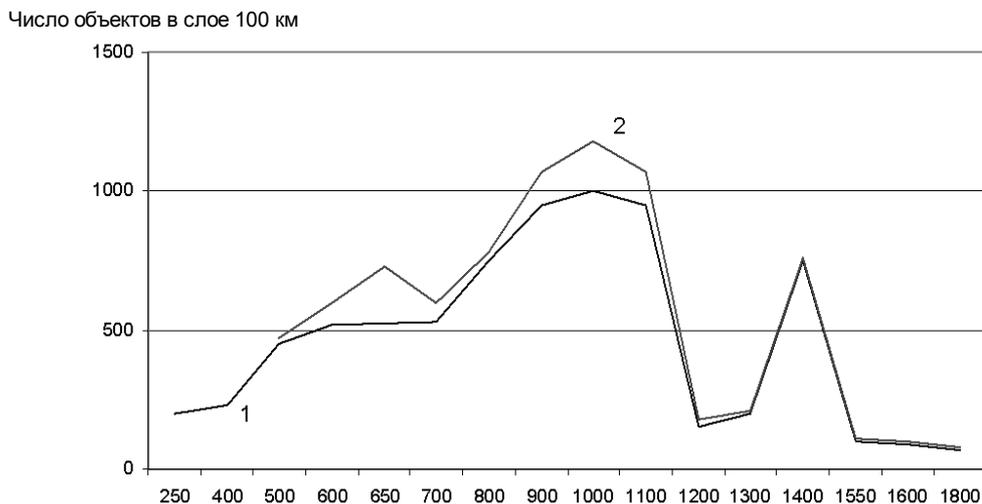


Рис. 1. Высотное распределение каталогизированных обломков: кривая 1 – данные каталога, кривая 2 – математическое моделирование высотного распределения

В настоящее время для перехода от размера частицы к его массе наиболее широко используется метод, предложенный в работе [3]:

$$M = 62 \cdot 10^3 (A_c)^{1,13}, \quad (2)$$

где M – масса частицы (г); A_c – площадь поперечного сечения частицы (M^2).

В этом соотношении множитель $62 \cdot 10^3$ соответствует плотности частицы, а 1,13 является геометрическим коэффициентом, который представляет со-

бой некоторое значение между соответствующими коэффициентами для полого (1,0) и сплошного цилиндра (1,5). Соотношение между размером и массой обломков было получено эмпирическим путем на основе обработки данных о находящихся на орбите полезных нагрузках, пустых корпусов ракет, осколков мусора. Эмпирическое соотношение между массой осколков и их радиолокационным сечением представлено на рис. 2.

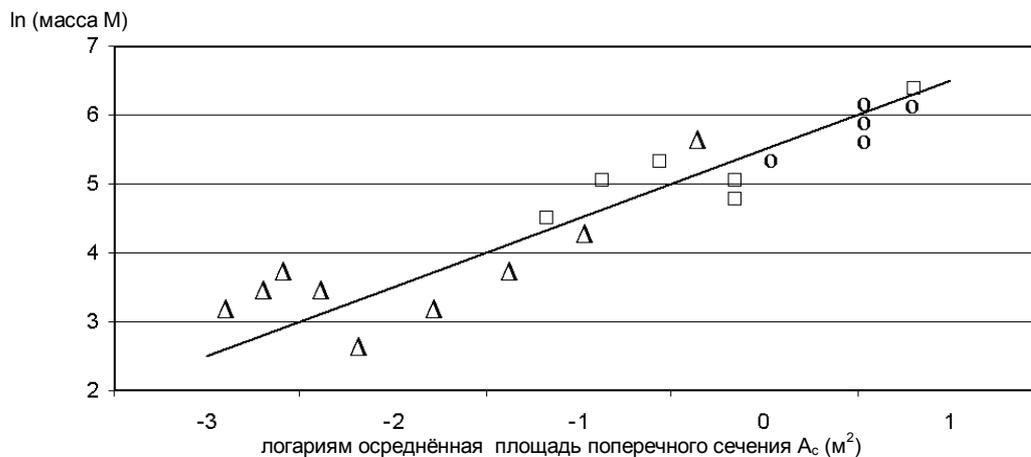


Рис. 2. Эмпирическое соотношение между массой осколков и их радиолокационным сечением

Для более точного определения массы частицы космического мусора (кроме радиолокационного

сечения) необходимо учесть форму и плотность частицы (которая определяется компонентом конструк-

ции космического аппарата). Так как основным компонентом конструкции спутников является алюминий, соответственно и плотность этого металла 2700 кг/м^3 будет являться величиной, необходимой для расчета массы частицы. Форму же частицы, в основном, принято считать сферической и коэффициент лобового сопротивления (являющийся сложной функцией взаимодействия материала частицы с атмосферой или космической средой) в статической атмосфере составляет 2,2, а с учетом средней скорости вращения атмосферы принимается равной 2,0.

Располагая величиной баллистического коэффициента [1], вычисленной с помощью программы расчета долгосрочных изменений параметров орбиты, можно найти массу обломка после оценки его плотности.

Функция плотности, которая использовалась при определении массы находящихся на орбите осколков, представлена на рис. 3. Для определения точности значения массы, с помощью предлагаемой методики, необходимо провести анализ конкретного случая фрагментации разрушившегося спутника (после взрыва или столкновения).

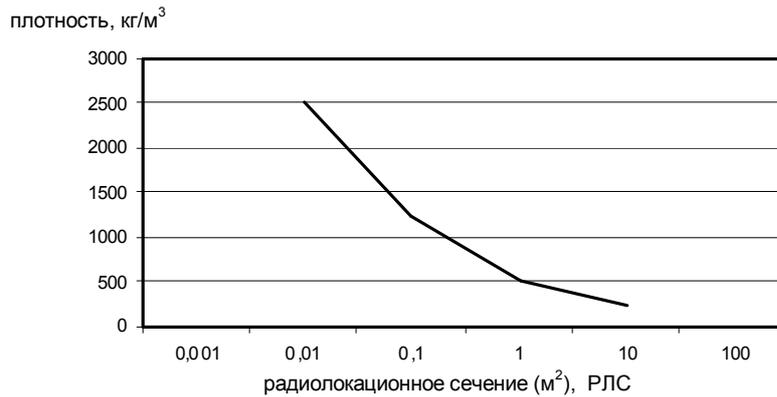


Рис. 3. Определение массы находящихся на орбите осколков

Фрагменты (осколки), занесенные в каталог, должны будут отслеживаться с помощью наземных систем обнаружения, определяя их РЛС.

Используя функцию плотности (рис. 3) и баллистический коэффициент, вычисленный с помощью прогнозирующего устройства, получим массу находящихся на конкретной орбите осколков.

Выводы

В связи с тем, что степень повреждения и требования к защите космических аппаратов, находящихся на низких околоземных орбитах, в сильной степени зависят от массы сталкивающихся с ними осколками космического мусора, важное значение приобретает предсказание массы обнаруживаемых частиц на основе использования баллистического коэффициента и функции плотности осколков.

ВИЗНАЧЕННЯ МАСИ УЛАМКІВ КОСМІЧНОГО СМІТТЯ

В.Ф. Фролов

У статті запропоновано метод визначення маси уламків космічного сміття. Метод враховує геометричні розміри, площу поперечного перерізу різних уламків, а також щільність матеріалу, з якого цей конкретний уламок утворився.

Ключові слова: космічне сміття, поперечний переріз, радіолокаційний переріз, щільність, маса.

DETERMINING THE MASS OF SPACE DEBRIS FRAGMENTS

V.F. Frolov

The article proposes a method for determining the mass of space debris fragments. The method takes into account the geometrical dimensions, cross-sectional area of different debris fragments and the density of the material of which the specific piece of debris consists.

Keywords: space debris, cross-section, radar cross-section, density, mass.

Список литературы

1. Фролов В.Ф. Екологічна безпека біосфери Землі і Космосу. Монографія / В.Ф.Фролов. – К.: ТОВ «НВП «Інтерсервіс», 2015. – 220 с.
2. Техногенное засорение околоземного космического пространства. Отраслевое пособие / А.П. Алпатов, В.П. Басс, С.А. Баулин, В.И. Бразинский, В.П. Гусынин и др. – Днепропетровск: Пороги, 2012. – 378 с.
3. Kessler D.J. Collision Frequency of Artificial Satellites: Creation of a Debris Belt // Progress in Astronautics and Aeronautics. – Vol. 71, edited by H.B. Garrett and C.P. Pike. – AIAA, New York, 1983. – P. 707 – 736.
4. Кесслер Д.Дж. Прогноз засорения космического пространства / Д.Дж. Кесслер // Аэрокосмическая техника. – 1989. – №1. – С. 145 – 147.

Надійшла до редколегії 4.06.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.А. Машков, Державна екологічна академія, Київ.