

ПРОБЛЕМА КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА. АНАЛИЗ КОСМИЧЕСКОЙ СРЕДЫ С ПОМОЩЬЮ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ

В. С. Баранова

*Белорусский государственный университет, г. Минск;
dolphinfm7@gmail.com; науч. рук. – В. Р. Ермакович*

В этой статье рассматриваются основные особенности космического мусора, а также актуальность проблемы его распространения в космической среде. Кроме того, проводится оценка текущего состояния околоземного пространства с помощью программного обеспечения MASTER, разработанного научным центром Европейского космического агентства. В результате оценки были выявлены основные области засорения и проанализированы риски для действующих космических аппаратов.

Ключевые слова: космический мусор; околоземная орбита; орбитальные обломки; целевая орбита; пространственная плотность; поток мусора.

Космический мусор представляет собой все нефункциональные объекты на околоземной орбите, созданные человеком. Основная популяция мусора состоит из следующих источников размером более 1 мкм:

- объекты, связанные с запуском/миссией;
- фрагменты взрыва и столкновения;
- выбросы теплоносителя из ядерных реакторов в космосе (NaK);
- частицы шлака и пыли из ракетного двигателя (SRM);
- частицы деградации поверхности (чешуйки краски);
- многослойная изоляция фрагментов.

Только небольшая часть из выше приведенных источников космического мусора, может быть обнаружена наземными датчиками. О чем свидетельствует то, что по последним данным официальный каталог TLE состоял из 22 300 объектов более 10 см, причем, предполагается, что это составляет лишь 2 % от всех нефункциональных объектов с диапазоном размеров от 1 мкм до 10 см и более. Важно отметить, что количество мелких объектов получено в следствие многочисленных исследовательских экспериментов и путем моделирования.

Ученые продолжают разрабатывать и модернизировать модели орбитального мусора для описания и характеристики текущей и будущей среды космического пространства. Инженерные модели могут использоваться для оценки риска столкновения с космическим кораблем и спутниками, включая Международную космическую станцию.

Используя интерфейс программы MASTER, а также базы данных для моделирования с официального сайта ESA— <https://sdup.esoc.esa.int/>— Space Debris User Portal, можно оценить текущее состояние космической среды.

Целью программного обеспечения MASTER является характеристика частиц природного и техногенного (метеорный поток) окружения Земли, а также быстрая и простая оценка возможных эффектов, которые могут оказать эти частицы на космические миссии. Модель MASTER предлагает полное трехмерное описание распределения объектов, простирающихся от низкой околоземной орбиты (LEO) ($r > 6371$ км) до высоты Луны ($r > 500\,000$ км).

Моделирование может осуществляться в трех доступных режимах: режим целевой орбиты, режим инерциального объема и режим пространственной плотности.

В режиме целевой орбиты, определив полезный объект набором усредненных кеплеровых параметров [a , e , i , Ω , ω], а также указав параметры в уравнении повреждения можно определить поток, как функцию баллистического предела или как функцию конхоидального диаметра, что показано на рис. 1 (а) и (б) соответственно:

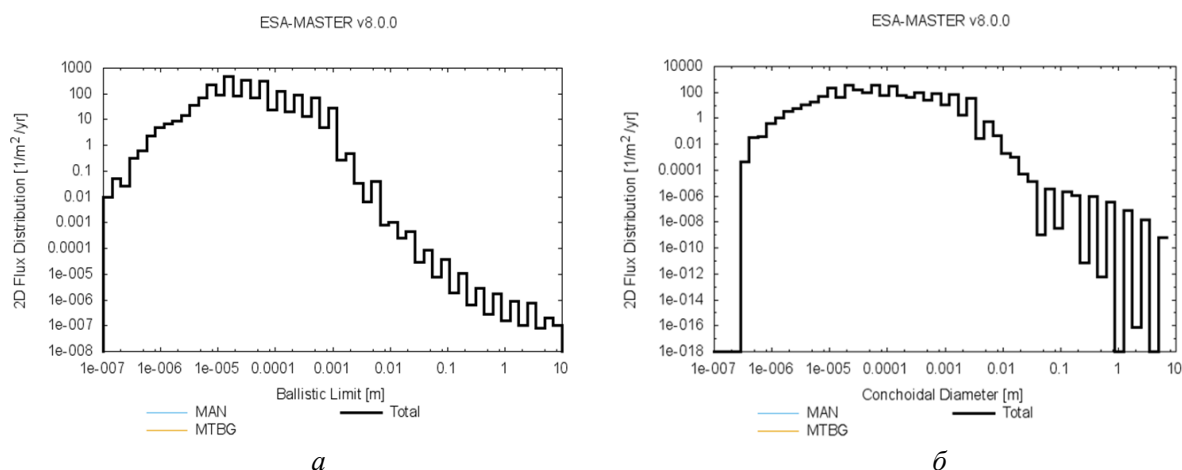


Рис. 1. Поток, как функция баллистического предела (а) и как функция конхоидального диаметра (б)

Параметры целевой орбиты (BSUSAT-1) следующие: SMA=6891,0– большая полуось, ECC=0,001597– эксцентриситет, INK=97,5405– наклонение, RAAN=326,255– долгота восходящего узла, AoP=263,277– аргумент перигея.

Интерпретация рис.1 поясняет тот факт, что чем меньше прочность обшивки функционирующего объекта, тем большая вероятность его катастрофического повреждения. Если учесть, что поток малых объектов космического мусора преобладает, очевидно предположить, что серьезной опасности подвергаются полезные объекты с низким баллистическим пределом.

Для отражения динамики роста космического мусора проведем моделирования его пространственной плотности за 2005 г. и 2018 г. соответственно.

На графиках рис. 2 и рис. 3 отображается пространственная плотность на всех высотах для всех источников мусора. Если обратить внимания на результаты смоделированных графиков, то можно заметить, что наивысшая плотность космического мусора, независимо от года, находится около 900 км. Четко видны также области Глобальной системы определения местоположения (GPS) около 22 000 км, а геостационарная орбита Земли (GEO) – около 36 000 км.

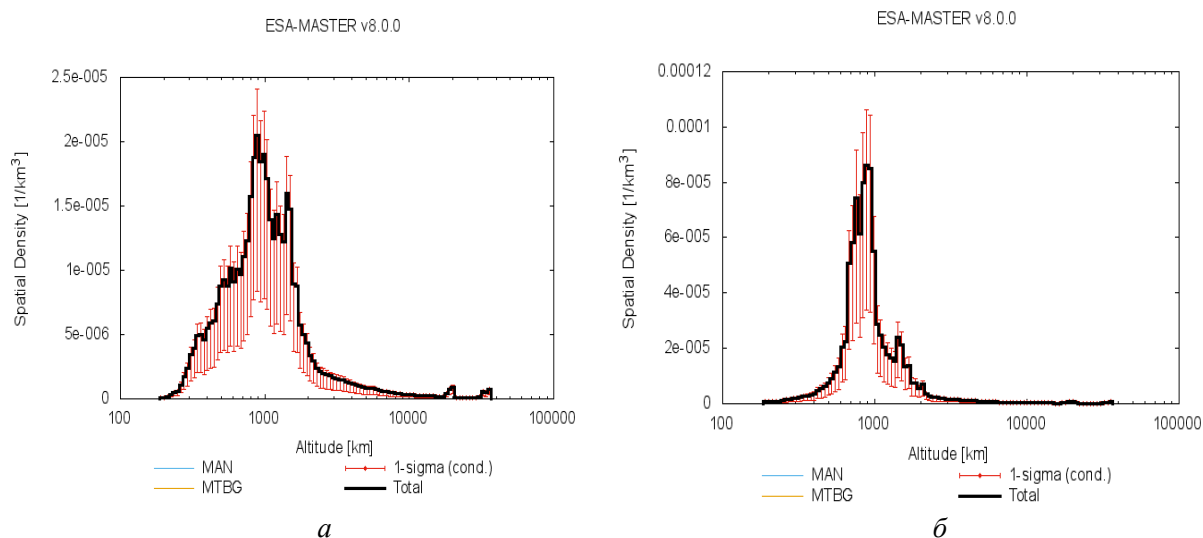


Рис. 2. Пространственная плотность, как функция высоты:
2005 г. (а), 2018 г. (б)

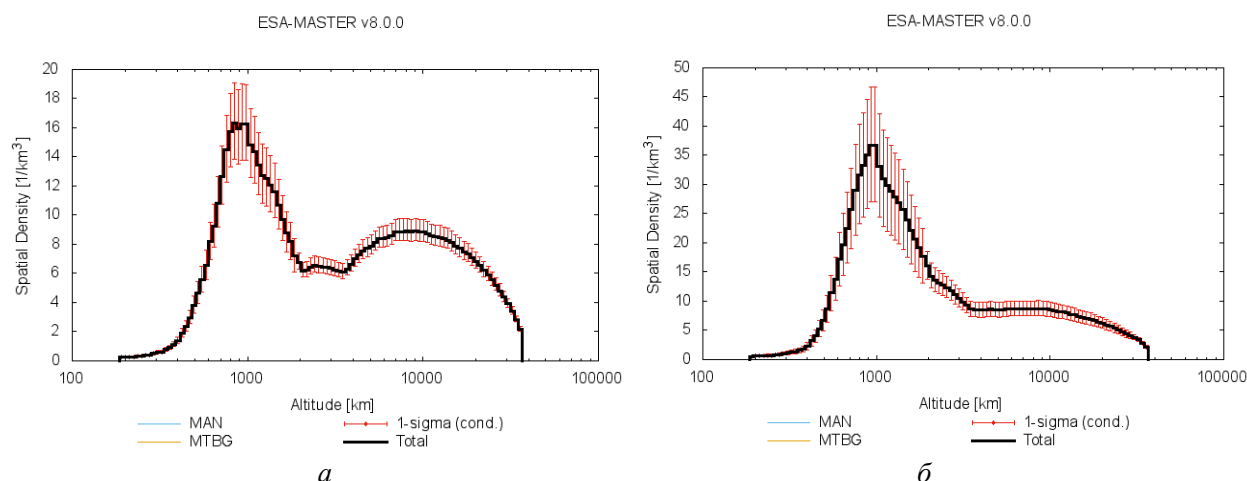


Рис. 3. Пространственная плотность, как функция высоты:
2018 г. (а), 2026 г. (б)

Исследуя графики рис. 2, важно отметить тенденцию количественного роста плотности космического мусора, что прослеживается и на рис. 3, где представлено моделирование опасных объектов на следующее 8 лет.

Стоит уточнить необходимый факт: на рис. 2 размеры учтенных объектов составляют от $1,0\text{E}-3$ до 100 м. По определенным критериям это достаточно крупные объекты. Что касается рис. 3, напротив, диапазон размеров варьируется от $1,0\text{E}-6$ до 1,0 м, эти объекты относятся к мелким, но немало важным в изучении так как их скорости достигают высоких значений, что создает серьезную угрозу повреждения функционирующих устройств. Анализируя плотности объектов космического мусора на рис. 2 и рис. 3, можно сделать вывод о том, что количество объектов в диапазоне от $1,0\text{E}-6$ до 1,0 м на несколько порядков выше, чем более крупных.

Из вышеописанного следует, что тенденция активного освоения космоса вызывает необходимость поиска решений по более точному мониторингу космического пространства, изучению обломков, в частности, их характеристик, и создания проектов по утилизации космического мусора на основе полученных исследовательских данных. Разработка роботизированных спутников, основанная на технологии визуальной навигации по обнаружению и захвату цели, является самым эффективным решением проблемы космического мусора и актуальна для будущих научных исследований.

Библиографические ссылки

1. Европейское космическое агентство [Электронный ресурс]. URL: https://www.esa.int/Our_Activities/Space_Safety/Space_Debris (дата обращения: 11.05.2019).
2. Orbital Debris Quartely News, Seprember 2018 NASA [Электронный ресурс]. URL: <https://orbitaldebris.jsc.nasa.gov> (дата обращения: 27.03.2019).
3. MASTER 8 Documentation: Software User Manual [Электронный ресурс]. URL: <https://sdup.esoc.esa.int/master/downloads/documentation/8.0.1/MASTER-Software-User-Manual.pdf> (дата обращения: 03.04.2019).