

УДК 528

**АНАЛИЗ ОПАСНОСТИ ВЛИЯНИЯ КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА НА
СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ С ЦЕЛЬЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
СОПРОВОЖДЕНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ И ИХ
ВЕРИФИКАЦИИ**

Дёмина Елена Андреевна

Lena97_uka@mail.ru

Магистрант 2 – го курса кафедры «Геодезия и картография» ЕНУ им. Л.Н. Гумилёва,
Нур – Султан, Казахстан

Научный руководитель – к.т.н., профессор Аукажиева Ж.М.

Космический мусор в настоящее время является чрезвычайно серьезной проблемой для любых операций в космосе, включая навигацию, связь, наблюдение и исследования. Постоянно увеличивающееся количество мусора в околоземном пространстве может сделать его недоступным для многих поколений. В данной статье анализируется проблема космического мусора и его влияния на космические аппараты.

С момента запуска первого Спутника, человечество активно осваивает космическое пространство. Космические аппараты размещаются на различных высотах, что связано с

важным стратегическим положением космических исследований. Среда, в которой функционирует космический аппарат состоит из сложных явлений, каждое из которых в той или иной степени воздействует на него. Улучшенные возможности слежения позволили нам “увидеть” обломки и дали представление о их действительном количестве. Известно, что существует более 21 000 орбитальных обломков размером более 10 см. Предполагаемая популяция частиц диаметром от 1 до 10 см составляет примерно 500 000. Количество частиц размером менее 1 см превышает 100 млн.

Орбитальный мусор-это все искусственные объекты на орбите вокруг Земли, которые больше не служат полезной целью. Космический мусор включает в себя покинутые космические аппараты и верхние ступени ракет-носителей, носители для многократных полезных нагрузок, мусор, намеренно высвобождаемый при отделении космического аппарата от ракеты-носителя или во время выполнения миссий, мусор, образовавшийся в результате взрывов или столкновений космических аппаратов или верхних ступеней.

Чем выше высота, тем дольше орбитальный мусор обычно остается на околоземной орбите. Обломки, оставшиеся на орбитах ниже 600 км, обычно падают обратно на Землю в течение нескольких лет. На высотах 800 км время распада орбиты часто измеряется десятилетиями. Выше 1000 км орбитальный мусор, как правило, будет продолжать кружить вокруг Земли в течение столетия или более.

На низкой околоземной орбите (менее 2000 км) орбитальный мусор вращается вокруг Земли со скоростью от 7 до 8 км/с. Однако средняя скорость столкновения орбитального мусора с другим космическим объектом составит примерно 10 км/с. Следовательно, столкновения даже с небольшим куском мусора потребуют значительной энергии [1].

Большая часть орбитального мусора находится в пределах 2000 км от поверхности Земли. В пределах этого объема количество обломков значительно меняется с высотой. Наибольшие концентрации обломков встречаются в районе 750-800 км. Рассеивание космического мусора видно на рисунке 1.

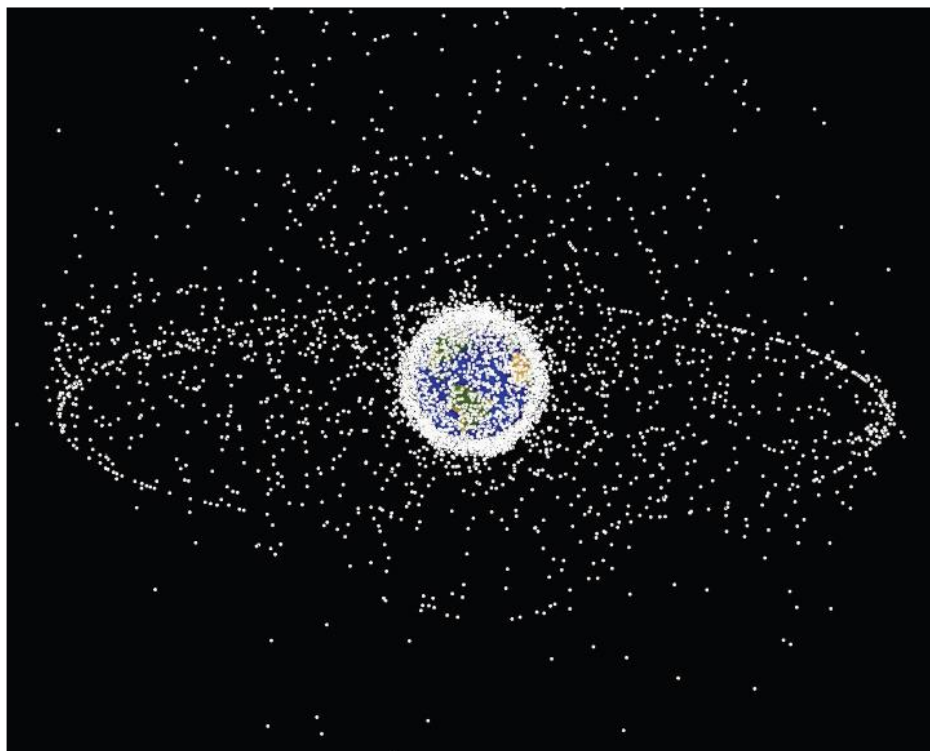


Рисунок 1. Популяции космического мусора, наблюдаемые с внешней геосинхронной орбиты

Опасность космических операций от мусора зависит от характера этих операций и орбитального района, в котором они происходят. Орбитальный район важен тем, что поток мусора, с которым сталкивается космический аппарат, сильно меняется в зависимости от высоты орбиты и, в меньшей степени, от наклона орбиты. Характер операций является фактором, поскольку один и тот же кусок мусора, который может нанести серьезный ущерб одному типу космических аппаратов, может нанести незначительный вред космическому аппарату с другой конфигурацией или орбитальным положением. Эксплуатационные космические аппараты поражаются очень мелкими обломками обычно практически без видимого эффекта. Щиты от мусора также могут защитить компоненты космического аппарата от частиц размером до 1 см в диаметре. Вероятность случайного столкновения двух крупных объектов (> 10 см в диаметре) очень мала. Худший такой инцидент произошел 10 февраля 2009 года, когда столкнулись действующий американский спутник "Иридиум" и брошенный российский спутник "Космос"[2].

Синдром Кесслера, предложенный в 1978 году бывшим ученым из НАСА, Кесслер, это сценарий, в котором плотность объектов на Низкой околоземной орбите (LEO) достаточно высока, чтобы одно столкновение между двумя объектами могло вызвать каскад – каждое столкновение порождает космический мусор, который увеличивает вероятность дальнейших столкновений. Это означает, что в настоящее время в космосе так много мусора, что одно столкновение может привести к множеству других. Это, в свою очередь, может привести к тому, что обломки будут сбиты с курса и направлены на землю.

Каждый спутник, космический зонд и пилотируемая миссия имеют потенциал для создания или превращения в космический мусор. По мере того как число спутников на орбите вокруг Земли растет, а старые спутники устаревают, риск каскадного синдрома Кесслера становится все больше [3].

Защита от орбитального мусора включает в себя проведение измерений воздействия гипер скоростей для оценки риска, создаваемого орбитальным мусором для действующих космических аппаратов, а также разработку новых материалов и новых конструкций для обеспечения лучшей защиты от окружающей среды с меньшим весом. Данные этой работы обеспечивают связь между окружающей средой, определенной моделями, и риском, представляемым этой средой для эксплуатируемых космических аппаратов, и дают рекомендации по проектированию и процедурам эксплуатации для снижения риска по мере необходимости.

Экранирование космического корабля рассчитано на то, чтобы выдержать большую часть частицы микрометеороида и орбитального мусора, которые могут воздействовать на космический аппарат, тем самым снижая вероятность серьезного повреждения аппарата и/или экипажа. Экранирование-это одна из частей общей стратегии снижения риска столкновения, которая также может включать предупреждение и предотвращение столкновений. Несмотря на то, что невозможно устранить весь риск удара, щиты предназначены для удовлетворения или превышения пределов защиты, основанных на вероятности [4].

Экранирование космических аппаратов для орбитальных спутников Земли должно защищать как от естественного метеороида, так и от искусственного орбитального мусора, который имеет очень разные характеристики и скоростные режимы. Скорости столкновения орбитального мусора на высокой околоземной орбите имеют среднюю скорость около 11 км/сек, концентрируя огромное количество кинетической энергии в точке удара. Метеороиды имеют еще более высокие скорости, в среднем около 20 км/с и достигающие скорости до 70 км/с.

Еще одним способом защиты от ударов космического мусора является увеличение толщины стенки космического аппарата, таким образом, чтобы она оставалась неповрежденной после удара. Однако это значительно увеличивает вес космического корабля, который должен быть запущен в космос. Более разумный метод-использовать концепцию "Щита Уиппла"[5].

В 1940-х годах Фред Уиппл предложил метеороидный щит для космических аппаратов, названный щитом Уиппла в знак признания его вклада. Щит Уиппла состоит из тонкой алюминиевой “жертвенной” стенки, установленной на расстоянии от задней стенки.

Функция первого листа или “БАМПЕРА” состоит в том, чтобы разбить снаряд на облако материала, содержащего как осколки снаряда, так и БАМПЕРА. Это облако расширяется во время движения через тупик, в результате чего импульс удара распределяется по широкой области задней стенки. Это видно на рисунке 2.

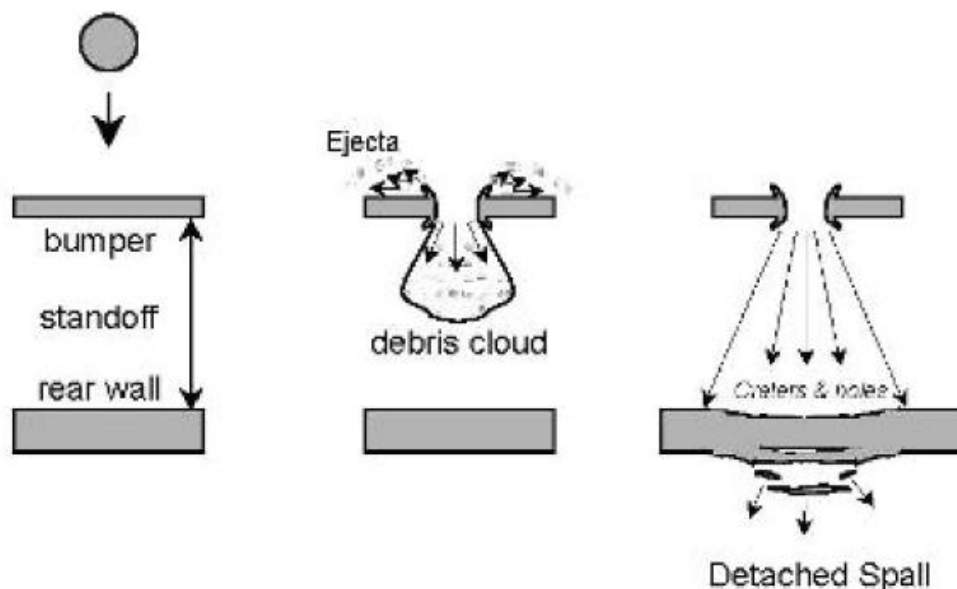


Рисунок 2. Схема щита Уиппла

Задний лист должен быть достаточно толстым, чтобы выдержать взрывную нагрузку от облака обломков и любых оставшихся твердых фрагментов. Для большинства условий щит Уиппла приводит к значительному снижению веса по сравнению с одной пластиной, которая должна быть достаточно прочной, чтобы получить кинетическую энергию снаряда в локализованной области.

Предотвращение столкновений – важный, но ограниченный инструмент защиты космических аппаратов на орбите. В 2009 году Американская сеть космического наблюдения отслеживала ~19 000 объектов размером более 5-10 см в диаметре. Из этих объектов менее 5% являются действующими спутниками, способными маневрировать. Кроме того, маневренные космические аппараты могут избегать только других 19 000 отслеживаемых объектов, что составляет небольшую долю от расчетной 500 000 опасных орбитальных обломков размером более 1 см [6]. Независимо от ограничений, многие высокоценные спутники предпочитают выполнять анализ конъюнкции и, при необходимости, выполнять маневры по предотвращению столкновений.

Космический центр имени Джонсона НАСА разработал и использует процедуры предотвращения столкновений в течение многих лет для поддержки миссий Космических челноков и Международной Космической станции. Позже Центр космических полетов имени Годдарда НАСА разработал процесс оценки конъюнкции и предотвращения столкновений для роботизированных космических аппаратов, например, Система наблюдения Земли НАСА (EOS) на низкой околоземной орбите и система слежения «Спутниковая система ретрансляции данных» на геосинхронной орбите [7].

Космический мусор стал существенной и серьезной проблемой для развития современных космических программ и, если его оставить как есть, вскоре сделает космос

недоступным, разрушив многие вещи, ставшие сегодня привычными, в том числе спутниковый интернет, спутниковую навигацию и связь, которые доступны гражданским пользователям. Можно видеть, что космический мусор, находящийся в космической среде оказывает значительное воздействие на работу космического аппарата, что может привести к многочисленным аномалиям, которые повлекут за собой получение не корректных геопространственных данных, необходимых для решения множества задач, как государственного, так и коммерческого значения. Примечательно, что специфический анализ космической среды для является очень сложной основой технического обслуживания космических аппаратов. Данная работа может обеспечить технологическое сопровождение проектирования космических аппаратов.

Необходим способ уничтожения или переработки этого мусора, но в настоящее время реалистичных подходов к нему нет. Поэтому решение проблемы космического мусора является актуальной научной задачей.

Список использованных источников

1. Sen Z. Satellite On-board Failure Statistics and Analysis[J]. SpacecraftEngineering, 2010.
2. Torkar K, Nakamura R, Tajmar M, et al. Active spacecraft potential control investigation[J]. SpaceScienceReviews, 2016, 199(1-4): 515-544.
3. Rodgers D J, Hunter K. The FLUMIC electron environment model[C]//8 th Spacecraft Charging Technology Conference. 2003.
4. Moorhead A V. Meteoroid environment modeling: the Meteoroid Engineering Model and shower forecasting[J]. 2017.
5. Chobotov V A, Mains D L. Tether satellite system collision study[J]. ActaAstronautica, 1999, 44(2):99-112.
6. Bonnal C, Ruault J M, Desjean M C. Active debris removal: Recent progress and current trends[J]. ActaAstronautica, 2013, 85: 51-60.
7. Yigit E. Atmospheric and Space Sciences: Ionospheres and Plasma Environments[J]. Atmospheric and Space Sciences: Ionospheres and Plasma Environments, by E. Yigit. SpringerBriefsinEarthSciences, Vol. 2, 2018, 2018, 2.