

Оливио Адилсон Педро

аспирант

ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов»

г. Москва

DOI 10.31483/r-106936

**ОБЗОР КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА: ВОЗДЕЙСТВИЕ
НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ, РИСКИ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ
РЕШЕНИЯ ДЛЯ СМЯГЧЕНИЯ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ
СТОЛКНОВЕНИЙ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ**

Аннотация: в научной статье рассматривается проблема космического мусора и его воздействия на окружающую среду, а также риски и технологические решения для смягчения и предотвращения столкновений космических аппаратов. Растущее количество космического мусора представляет опасность для находящихся на орбите космических аппаратов и инфраструктуры Земли, а также оказывает значительное воздействие на окружающую среду. Решение этой проблемы требует технологических решений, таких как тепловые экраны, лазеры и методы удаления космического мусора на орбите, а также международного сотрудничества между космической отраслью, правительствами и научным сообществом. Это поможет обеспечить безопасность космических аппаратов на орбите и защиту окружающей среды.

Ключевые слова: космический мусор, воздействие на окружающую среду, риски, технологические решения, смягчение последствий, предотвращение, столкновения, космические аппараты.

Введение

Существование космического мусора (КМ) на орбите началось во время космической гонки и во время холодной войны между Соединенными Штатами (США) и тогдашним Советским Союзом (СССР) за технологическое превосходство и военную мощь, как продолжение защищенной политико-экономической системы теми, кульминацией которых стал запуск в 1954 году советской

межконтинентальной баллистической ракеты Р-7, содержащей первый искусственный спутник, созданный человеком и выведенный на околоземную орбиту, «Спутник-1». Этот запуск, помимо большого технического подвига, представлял собой серьезная угроза для США, поскольку тот же аппарат, способный запустить спутник, может быть использован для запуска ядерной бомбы на американской земле.

В 1958 году США вывели на орбиту свой первый спутник Explorer I, разработанный американской армией под руководством немецкого инженера-ракетчика Вернера фон Брауна, отвечавшего за разработку ракет Фау-2 в нацистской Германии. В том же году президент США Dwight Eisenhower подписал приказ о создании Национального Управления по Аэронавтике и Исследованию Космического Пространства (НАСА).

Возникновение и развитие космического права является наглядной демонстрацией того, что эта автономная отрасль права является результатом напряженности своего времени, таким образом, что международные договоры и соглашения, центральной темой которых является исследование и космическое пространство, появились после события, упомянутого выше, с целью умиротворения и создания минимальных правил, чтобы избежать еще большей напряженности и конфликтов, которые привели бы к полному уничтожению одной или обеих сверхдержав с широкими международными последствиями.

Запуски спутников в годы, следовавшие за запуском Спутника-1, проводились только государствами или с государственной заинтересованностью и разрешением. Кроме того, переговоры, касающиеся международных договоров на эту тему, также велись исключительно ими, с соблюдением военно-стратегической перспективы, даже после окончания «холодной войны». Непрерывность запусков спутников неизбежно повлияла на развитие глобализации и более широкое использование информации от этих систем для улучшения и развития современного общества.

Первое признание чрезмерной эксплуатации низкой околоземной орбиты и связанных с этим рисков пришло в 1978 году, когда американский астрофизик

Donald J. Kessler представил свою теорию (Синдром Kessler) о каскадном эффекте столкновений КМ, которые возвращаются друг к другу из-за гравитации. Синдрому Kessler не придавалось должного значения до середины 2002 года, когда Межведомственный Координационный Комитет по Космическому Мусору опубликовал первое международное руководство по предупреждению образования космического мусора, послужившее основой для разработки инициативы по содействию долгосрочным устойчивости космической деятельности Комитетом Организации Объединенных Наций по использованию космического пространства в мирных целях.

Привлечение новых частных субъектов, заинтересованных в коммерческом освоении космоса (таких как Роскосмос, SpaceX, Arianespace и др.), изменило динамику принятия решений и более широкое восприятие проблемы, связанной с КМ на низкой околоземной орбите. которые могут поставить под угрозу непрерывность деятельности этих компаний либо за счет увеличения риска, либо за счет увеличения страховых расходов, материалов, используемых в спутниках, выбора размера и маневренности запускаемых спутников.

Текущий сценарий сложен, поскольку государства по-прежнему сильно сопротивляются продвижению вперед в этом вопросе, особенно из-за военных и стратегических рисков, связанных с внедрением руководящих принципов по уменьшению КМ. В то же время проблема прогрессирует вне зависимости от непрерывности запуска новых спутников, в результате текущего имеющегося количества, которое в сумме составляет более 34 000 объектов размером более 10 см, 900 000 объектов размером от 1 до 10 см и более 128 миллионов от 1 мм до 1 см, согласно данным Европейского космического агентства за февраль 2020 года [1; 2].

Хищническое использование земных орбит неизбежно приведет к трагедии общего достояния и, следовательно, к краху космической деятельности с последствиями для повседневной жизни Земли. Признание этого и классификация проблемы КМ как сверхзлой проблемы является фундаментальным шагом к пониманию того, что выработка адекватных решений для ее противостояния обязательно

должна включать коллективные действия авторов в [3]. В этом смысле глобальное управление является важнейшим инструментом для выработки адекватных, демократических, междисциплинарных решений, не зависящих исключительно от действий государства.

Растущее количество КМ на околоземной орбите представляет собой растущую проблему для космической отрасли и научного сообщества. Рост космической активности в последние десятилетия привел к образованию большого количества космического мусора, который может представлять опасность для космических аппаратов (КА) на орбите и для инфраструктуры Земли. По словам авторов в [4], это происходит и сегодня, поскольку растет интерес к научному и коммерческому использованию и исследованию космоса.

Цель работы – проанализировать воздействие на окружающую среду, риски и технологические решения для смягчения последствий с целью предотвращения столкновений КА, а также предложить глобальное управление, чтобы лучше помочь космическому праву в разработке и совершенствовании механизмов регулирования, основанных на технических и научных знаниях. в том числе с использованием новых технологий, на согласованной основе, чтобы гарантировать устойчивость космической деятельности, особенно на низкой околоземной орбите. Используемая методология представляет собой дедуктивный подход и исследовательскую, библиографическую и документальную технику для анализа воздействия космического мусора на окружающую среду, связанных с этим рисков и технологических решений для смягчения и предотвращения столкновений со спутниками и КА.

Концепция космического мусора

Понятие КМ является спорным, так как существует несколько определений космического мусора. По мнению авторов [4; 5], международные договоры по космической тематике не определяют, что такое космический мусор, и этот термин не упоминается ни в одном договоре. Помня об этом, я дам три определения космического мусора:

1) научно-технический подкомитет КОПУОС: «все искусственные объекты, включая их фрагменты и части, независимо от того, могут ли быть идентифицированы их владельцы или нет, находящиеся на околоземной орбите или возвращающиеся в плотные слои атмосферы, которые не функционируют с отсутствием разумных ожиданий того, что они смогут взять на себя или возобновить свои предполагаемые функции или другие функции, на которые они уполномочены или могут быть уполномочены [6];

2) Международная академия астронавтики – IAA: любой искусственный объект на околоземной орбите, который не функционирует без разумных ожиданий, что он примет на себя или возобновит свою предполагаемую функцию, или любую другую функцию, для которой он разрешен или может быть разрешен, включая их фрагменты и части. Орбитальный мусор включает в себя неработающие космические аппараты, отработавшие корпуса ракет, материалы, выброшенные во время плановых космических операций, и фрагменты, образовавшиеся в результате разрушения спутников и разгонных блоков в результате взрывов и столкновений [7];

3) Межведомственный координационный комитет по космическому мусору (МКККМ): «все искусственные объекты, включая их фрагменты и элементы, находящиеся на околоземной орбите или возвращающиеся в атмосферу, которые не функционируют.

Несмотря на схожесть, определение МКККМ шире, и, по словам автора в [8], термин «космический мусор» и вышеупомянутое определение все чаще используются в обсуждениях в рамках КОПУОС. Кроме того, руководство было одобрено Генеральной Ассамблеей ООН в 2007 г. в резолюции 62/217 [4].

Формирование космического мусора и его динамика на околоземных орбитах

Первый фрагмент космического мусора вышел из корпуса ракеты, на которой был запущен Спутник–1 в 1957 году, узнав динамику запусков, можно понять распространение мусора [9]. Обломки различаются по размеру и могут образоваться в результате столкновений, взрывов или истощения топлива, которые

могут бесконечно вращаться на орбите Земли, что создает риски для будущих миссий [4].

Важно отметить, что в конкретном случае столкновения космического объекта с небольшим куском мусора при средней скорости 10 км/с это приведет к выбросу в 115 раз массы меньшего объекта. Так, в 2016 году небольшой кусочек краски повредил окно Международной космической станции [4]. Поэтому кусок краски, оторвавшийся кусок ступени ракеты, незатянутый винт, не обязательно исходящий из приведенных форм, представляют потенциальную опасность для жизни космонавтов, для безопасности Международной космической станции (МКС) и на спутниковую деятельность в целом, имея возможность уничтожить, вывести из строя или удалить спутник с маршрута.

Согласно автору в работе [10], существует четыре различных типа мусора, а именно:

а) неактивные нагрузки, состоящие в основном из нефункционирующих спутников на околоземной орбите;

б) эксплуатационный мусор, который представляет собой объекты, преднамеренно выброшенные во время доставки спутника или эксплуатации спутника, включая крышки линз, устройства разделения и упаковки, вращающиеся механизмы, пустые топливные баки и экраны полезной нагрузки;

в) осколочные обломки, образующиеся при разделении покинутых корпусов ракет и космических аппаратов;

г) мусор в виде микрочастиц, который включает пыль твердотопливных двигателей и продукты разрушения поверхности, такие как пятна от краски.

Эти обломки, согласно авторам в [7], в конечном итоге снова войдут в атмосферу Земли, уйдут с орбиты Земли в глубокий космос или останутся на околоземной орбите. Чтобы определить, что произойдет, понимание скорости, положения обломков, наклона и расстояния является фундаментальным, однако динамика зависит от углубления вовлеченных физических вопросов, что не является целью этой диссертации.

Некоторые заметки необходимы, чтобы иметь представление о существующем сценарии. Таким образом, заслуживает внимания мусор, находящийся на низкой околоземной орбите (НОО) на высоте от 160 до 1000 км [11]. На этой орбите, авторы в [12] объясняют, что основное использование – научное и дистанционное зондирование.

По словам автора в [11], благодаря характеристикам НОО эта орбита идеальна для более дешевых космических запусков из-за ее обширной программы подъема большого количества тяжелых полезных грузов, для возвращения астронавтов к Земле, а также для постоянной и необходимой телесвязи с Землей. Однако примечательно, что SpaceX Starlink и Amazon.com Project Kuiper планируют заселить этот орбитальный регион новыми мегасозвездиями, что вызывает обеспокоенность по поводу безопасности МКС и ее людей.

Согласно Akers в работе [13], спутники, расположенные на НОО, должны относительно быстро распадаться из-за гравитационного притяжения Земли, если они не сохраняют свою постоянную скорость.

МКС находится на этой орбите на высоте 400 км [14]. Другой практический пример, согласно автору в [10], заключается в том, что космическому мусору, находящемуся на расстоянии 600 км, то есть на низкой околоземной орбите, потребуется примерно пятнадцать лет, чтобы совершить естественный вход в атмосферу Земли. в то время как объект, расположенный выше 850 км, может занять столетия. Такие авторы, как FLURY и CONTANT [7] понимают, что НОО будет достигать 2000 км, однако они не упоминают область, известную как средняя околоземная орбита (СОО), которая анализируется в более поздних работах, таких как EARL [11], описывающий его как орбиту, которая выходит за пределы 1000 км примерно до 35 000 км. Lyall и Larsen в [12] признают существование МЕО, однако они помещают его между 2000 км и 35000 км, понимая, что LEO будет достигать 2000 км.

Автор в [11] объясняет, что датчики, внедренные на МЕО, имеют более высокий охват, чем датчики, расположенные на LEO, и идеально подходят для группировки GPS и для использования спутников связи, таких как INMARSAT.

Космический мусор, расположенный на СОО и на геостационарной орбите Земли (ГЕО), может оставаться в космосе в течение сотен лет или бесконечно долго, если только он не будет преднамеренно деактивирован или замедлен до какой-либо более низкой орбиты [10].

ГСО находится на высоте более 35 000 км от Земли и получает такое название потому, что при наблюдении объекта (спутника) с Земли на этой орбите создается впечатление, что он неподвижен, так как обращается вокруг Земли с той же скоростью, что и Земля вращается вокруг своего центра. ГЕО обычно используется для связи и наблюдений за Землей, включая метеорологические спутники [11].

Эволюция космического мусора и низкая околоземная орбита

С момента запуска первого спутника до середины 1978 года крупные и дорогостоящие запуски выполнялись только государственными субъектами [11]. С этого момента в результате неожиданных последствий глобализации и цифровизации более широкое использование околоземных орбит в коммерческих, гражданских и военных целях значительно изменилось, причем основными факторами были рост институционального и коммерческого применения космической деятельности, сокращение запусков, затраты и ожидаемая доходность в сегментах с интенсивным использованием данных [14].

Чтобы было более четкое восприятие, в период с 1957 по 2020 год было зарегистрировано 5990 (без учета неудач) космических запусков, выведших на орбиту около 10490 спутников, из которых 6090 все еще находятся в космосе и только 3300 находятся в эксплуатации. Что касается количества обломков, регулярно отслеживаемых сетями космического наблюдения и хранящихся в их каталоге, то их можно насчитать около 28 150, а расчетное количество разделений, взрывов, столкновений или аномальных явлений, приводящих к фрагментациям, составляет более 550. Суммарная масса всех космических объектов, вращающихся вокруг Земли, превышает 9100 тонн. Что касается мусора, находящегося на орбите по оценкам статистических моделей, то он насчитывает более 34 000

объектов размером более 10 см; 900 000 объектов размером от 1 см до 10 см; и 128 миллионов объектов размером от 1 мм до 1 см [1].

Помимо Европейского Космического Агентства (ЕКА), другие космические агентства имеют свои собственные данные и счетчики мусора. НАСА опубликовало ежемесячное количество объектов, занесенных в каталог на околоземной орбите, по типам объектов в период с 1957 по 2020 год. На приведенной ниже диаграмме показана сводка всех объектов на околоземной орбите, официально занесенных в каталог Сетью наблюдения за космическим пространством США.

На приведенном ниже графике показаны объекты размером 10 сантиметров и более [14], поскольку, по словам Crowther [15], обломки размером от 1 до 10 сантиметров обычно считаются смертельными, поскольку их нельзя отследить или каталогизировать, и они могут нанести катастрофический ущерб при столкновении со спутником. Кроме того, автор в [6] сообщает, что сети наблюдения могут обнаруживать только объекты размером более 10 см на НОО и более 1 м на ГСО.

На приведенной ниже диаграмме представлено ежемесячное количество объектов на орбите Земли по типам объектов. Проведя беглый анализ графика, можно заметить, что в 2 момента произошло увеличение количества осколков, точнее в 2007 и 2009 годах, которые связаны с двумя крупнейшими случаями катастрофических столкновений.

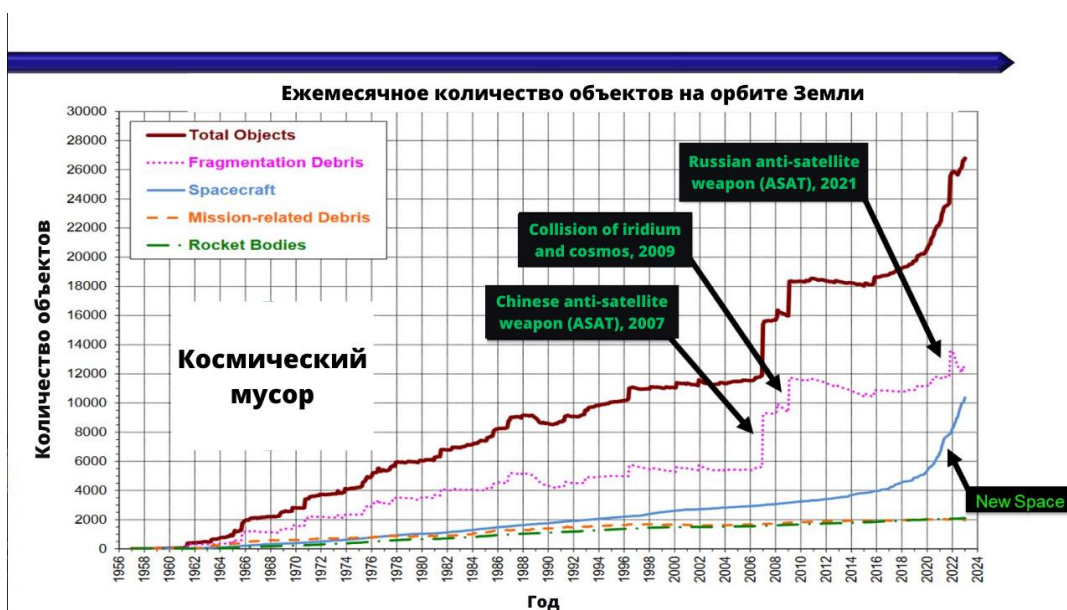


Рис. 1. 2019 США Правительственные стандартные практики по уменьшению орбитального мусора (Ежеквартальные новости, Vol. 24, выпуск 1, февраль 2020 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://orbitaldebris.jsc.nasa.gov/quarterly-news/pdfs/odqnv24i1.pdf>. Acesso em Abril de 2023 [2])

В январе 2007 г. Китай запустил баллистическую ракету DongFeng-21, которая была модифицирована кинетическим средством поражения с пускового центра Сичан [16]. С этой модификацией баллистическая ракета стала противоспутниковым оружием с конкретной целью уничтожить китайский метеорологический спутник FengYun-1C [10]. Полезная нагрузка достигла конечной скорости примерно 8 километров в секунду по направлению к целевой точке, 750-килограммовому FengYun-1C, который находился на полярной орбите на высоте примерно 865 км, то есть на НОО [11].

Согласно Undseth, Jolly and Olivari [14], вышеупомянутое событие стало причиной удвоения количества мусора на высоте 800 км и привело к увеличению на 30% общего количества орбитального мусора, а согласно Медведевой [6] был самым крупным зарегистрированным инцидентом с образованием мусора.

В цифрах KELSO [16] сообщено, что уничтожение FengYun-1C произвело по крайней мере 2087 фрагментов, обнаруживаемых американской сетью космического наблюдения. Кроме того, Управление программы орбитального мусора НАСА подсчитало, что в результате этого события образовалось более 35 000 фрагментов размером до 1 сантиметра. В дополнение к этому авторы в [17] объясняют, что, согласно данным, собранным радаром Naustack (Xband), было образовано более 150 000 обломков размером более 1 см.

Экипаж Международной космической станции был вынужден дважды укрываться в модуле «Союз» из-за обломков, образовавшихся от FengYun-1C. Кроме того, в 2012 г. МКС необходимо было изменить свою орбиту, чтобы избежать орбитального мусора, приблизившегося к станции [18]. Согласно Undseth, Jolly and Olivari, другие страны также проводили противоспутниковые испытания, например США, дважды, в 1985 и 2008 гг. Индия провела

противоспутниковые испытания в марте 2019 г., в результате чего создание облака мусора, которое может представлять опасность для Международной космической станции [14].

В феврале 2009 г. произошло первое случайное столкновение двух неповрежденных космических объектов, когда американский спутник связи Iridium 33 столкнулся с советским спутником связи Cosmos 2251 [4; 16]. Это событие породило более 1658 объектов, прослеживаемых до каталога США [6]. Наконец, автор в [10] объясняет, что событие произошло примерно в 800 км над северной частью Сибири, то есть на НОО.

При анализе данных двух событий, упомянутых выше, некоторые оценки имеют значение. В случае с FengYun-1C можно заметить, что использование противоспутникового оружия стало критическим событием для устойчивости космической экосистемы. Таким образом, если произойдут и другие подобные события, даже случайно, в том числе при активной попытке вывести спутник, риски значительно увеличатся. В этом смысле, даже если система международной ответственности эффективна, возникающие риски могут легко превысить возможности возмещения убытков.

Столкновение Iridium 33 x Cosmos 2251 подняло актуальные вопросы о важности осведомленности о космической ситуации, которая является механизмом наблюдения за мусором [4]. Однако в каждой космической программе есть ограничения, поэтому важным становится комплексное развитие сетей наблюдения.

На изображении ниже показан отслеживаемый космический мусор в 1963 году (слева) и в 2013 году (справа).

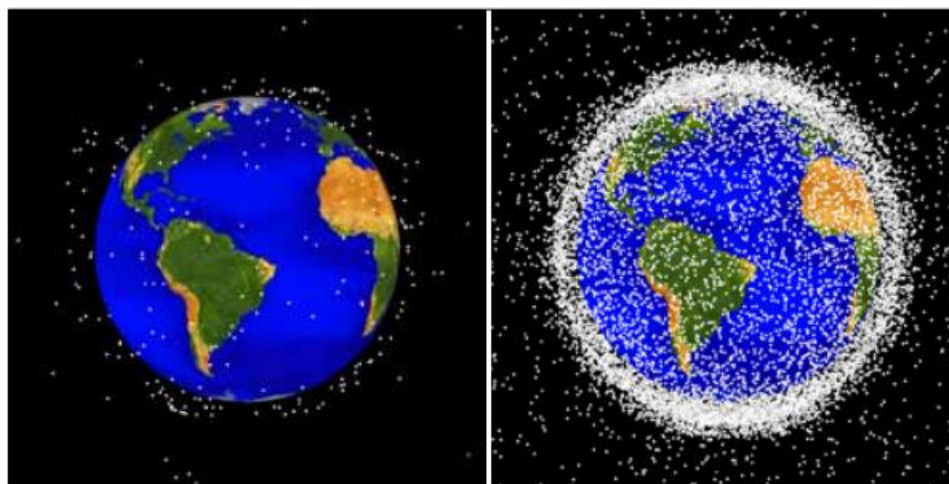


Рис. 2. Пятьдесят лет назад (Орбитальный мусор. Т. 17, вып. 3, июль 2013 г., с. 3. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://orbitaldebris.jsc.nasa.gov/quarterly-news/pdfs/odqnv17i3.pdf>, в декабре 2020 года [1])

Воздействие космического мусора на окружающую среду

Космический мусор может оказывать значительное влияние на земную и космическую среду. Космический мусор может сталкиваться с другими объектами на орбите, что приводит к каскаду столкновений, известному как «синдром Кесслера». Этот каскад может привести к экспоненциальному увеличению количества орбитального мусора, что сделает орбиту Земли непригодной для космической навигации. Космический мусор также может представлять опасность для Земли. Когда находящийся на орбите объект входит в атмосферу Земли, он может распасться и породить поток осколков, которые могут упасть на землю. Хотя большая часть космического мусора сгорает при входе в атмосферу, некоторые более крупные объекты могут выжить и причинить материальный ущерб или травмы.

Риски, связанные с космическим мусором

Космический мусор представляет значительный риск для космических аппаратов на орбите и для инфраструктуры Земли. Обломки могут столкнуться с космическими кораблями на орбите, нанеся им повреждения или даже уничтожив. Это может привести к потере связи, GPS и других важных служб, которые полагаются на спутники. Космический мусор также представляет опасность для

людей на Земле. Обломки, падающие на землю, могут привести к материальному ущербу и травмам. Кроме того, разрушение находящегося на орбите спутника может привести к падению его фрагментов на Землю, что представляет опасность для населения.

Технологические решения для смягчения последствий и предотвращения столкновений

Для смягчения и предотвращения столкновений с космическим мусором разработано несколько технологических решений. Одним из решений является использование теплозащитных экранов для защиты космических аппаратов при входе в атмосферу Земли, другим решением является использование лазеров для уничтожения космического мусора на орбите. Кроме того, разрабатываются методы удаления космического мусора на орбите с захватом мусора с помощью роботов-манипуляторов и использованием сетей для захвата мусора.

Лазерная метла использует наземный лазер для удаления мусора спереди, создавая ракетную тягу, которая замедляет объект. При непрерывном применении обломки будут падать достаточно, чтобы на них повлияло атмосферное сопротивление. Импульс фотонов лазерного луча может непосредственно передать обломкам импульс, достаточный для перемещения небольших обломков на новые орбиты, чтобы они не мешали работающим спутникам. Исследования НАСА, проведенные в 2011 году, показывают, что лазерный луч, направленный на космический мусор, может передавать импульс со скоростью 1 мм (0,039 дюйма) в секунду, а удерживание лазера на обломках в течение нескольких часов в день может изменить его курс на 200 м (660 футов) в сутки. Одним из недостатков является возможность деградации материала; энергия может разрушать мусор, усугубляя проблему. Аналогичное предложение размещает лазер на спутнике на синхронизированной с Солнцем орбите, используя импульсный луч, чтобы подтолкнуть спутники на более низкие орбиты, чтобы ускорить их вход в атмосферу. Было внесено предложение заменить лазер на Ion Beam Shepherd, а в других предложениях используются шарики из пенистого аэрогеля или распылители

воды, надувные воздушные шары, электродинамические тросы, электроадгезия и специальное противоспутниковое оружие.

Заключение

Космический мусор представляет собой постоянно растущую проблему для космической отрасли и научного сообщества. Растущее количество космического мусора на околоземной орбите представляет опасность для космических аппаратов на орбите и для инфраструктуры Земли. Кроме того, космический мусор может оказывать существенное влияние на земную и космическую среду.

Для смягчения и предотвращения столкновений с космическим мусором необходимы технологические решения. Технологические решения включают использование теплозащитных экранов для защиты космических аппаратов при входе в атмосферу Земли, использование лазеров для уничтожения космического мусора на орбите и методы удаления космического мусора с орбиты, такие как захват мусора с помощью роботов-манипуляторов и использование сетей для захватывать обломки.

Кроме того, важно наладить международное сотрудничество для решения проблемы космического мусора. Космической отрасли, правительствам и научному сообществу необходимо работать вместе для разработки эффективных решений по смягчению последствий и предотвращению столкновений с космическим мусором. Это поможет обеспечить безопасность космических аппаратов на орбите и защиту земной инфраструктуры и окружающей среды.

References

1. European space agency, ESA, a. Space debris by the numbers. Novembro de 2020, online [Electronic resource]. – Access mode: https://www.esa.int/Safety_Security/Space_Debris/Space_debris_by_the_numbers
2. European space agency, ESA, b. What is the Space Economy? 2019 [Electronic resource]. – Access mode: https://space-economy.esa.int/article/33/what-is-the-spaceeconomy#_ftn1
3. Weeden B. Policy and Priorities for Tackling Super Wicked Problems and Avoiding the Tragedy of the Commons (In Space). 2014 CODER Workshop Nov 18–

20, College Park, USA [Electronic resource]. – Access mode: <https://swfound.org/news/allnews/2014/11/brian-weeden-moderates-policy-panel-and-delivers-policy-keynote-at-inaugural-coder-space-debris-workshop/>

4. Masson-zwaan T., Hofmann M. Introduction to Space Law. Kluwer Law International. 4 ed. 2019.

5. Bressack L. Addressing the problem of orbital pollution: defining a standard of care to hold polluters accountable. In: Washington International Law Review. Vol. 43. 2011.

6. Medvedeva A. Space Debris Remediation: an International Relations Approach. A Master's Thesis submitted for the degree of «Master of Science». In: MSc Program Environmental Technology & International Affairs, 2015 [Electronic resource]. – Access mode: <https://repositum.tuwien.at/handle/20.500.12708/2159>

7. Flury, W., Contant J.M. The updated IAA position paper in orbital debris. In: Sawaya-Lacoste H. (Ed.) Proceedings of the Third European Conference on Space Debris, 1st edition. ESA Publications Division, Darmstadt, 2001.

8. Tronchetti F. Fundamentals of Space Law and Policy. New York: Springer, 2013.

9. Salter A.W. Space Debris A Law and Economics Analysis of the Orbital Commons. In: Stanford Technology Law Review (STLR). Stanford, California: Stanford University, vol. 19, issue 2, 2016 [Electronic resource]. – Access mode: <https://law.stanford.edu/publications/space-debris-a-law-and-economics-analysis-of-the-orbital-commons/>

10. Grosse C. Space debris and space traffic management: two contemporary issues of sustainable space security. Seminar aus Völkerrecht. Wien, Mai, 2013 [Electronic resource]. – Access mode: https://eur-int-complaw.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/i_deicl/VR/VR_Personal/Marboe/Intern_etrpublikationen/Grosse_2013_Space_debris.pdf

11. Earl A Space Debris: What is it and Why Should We Care? In: Project Asteria 2019 Space Debris Traffic Management & Space Sustainability. Michael Spencer (Ed.). 2019. [Electronic resource]. – Access mode:

<https://airpower.airforce.gov.au/Publications/Project-Asteria-2019-Space-Debris-Space-Traffic-M>

12. Lyall F., Larsen P. B. *Space Law A Treatise*. Surrey: Ashgate Publishing Limited, 2009.

13. Akers A. To Infinity and beyond: Orbital Space Debris and How to Clean It Up. In: *University of La Verne Law Review*, 33, rev. 285, 2012 [Electronic resource].

– Access mode: <https://heinonline.org/HOL/LandingPage?handle=hein.journals/jjuvl33&div=16&id=&page=>

14. Undseth M., Jolly, Olivari M. *Space sustainability: The economics of space debris in perspective*, OECD Science, Technology and Industry Policy Papers, No. 87, OECD Publishing, Paris, 2020 [Electronic resource]. – Access mode: <https://doi.org/10.1787/a339de43-en>

15. Crowther R. Orbital debris: a growing threat to space operations. In: *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 361(1802), 157–168, 2002 [Electronic resource]. – Access mode: [doi:10.1098/rsta.2002.1118](https://doi.org/10.1098/rsta.2002.1118)

16. Kelso T.S. Analysis of the Iridium 33-Cosmos 2251 Collision, presented at the 10th Advanced Maui Optical and Space Surveillance Technologies Conference, Maui, HI, 2009 [Electronic resource]. – Access mode: <https://celestrak.com/publications/AAS/09-368/>

17. Liou J.C., Johnson N.L. Planetary science. Risks in space from orbiting debris. In: *Science*. 2006 Jan, Vol 311, Issue 5759. [Electronic resource]. – Access mode: <https://orbitaldebris.jsc.nasa.gov/library/sciencemag-risks-in-space-from-orbiting.pdf>

18. Spark J. ISS Dodges Chinese ASAT Debris. In: *Space Safety Magazine* [Electronic resource]. – Access mode: www.spacesafetymagazine.com/news/iss-forced-dodge-chineseasatdebris/