

Аэрокосмический научный журнал

Сетевое научное издание
МГТУ им. Н.Э. Баумана
<http://aerospjournal.ru>

Ссылка на статью:

// Аэрокосмический научный журнал.
МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2016.
№ 06. С. 1–14.
DOI: **10.7463/aersp.0616.0851816**

Представлена в редакцию: 10.10.2016
Исправлена: 29.08.2016

© МГТУ им. Н.Э. Баумана

УДК 629.7

Очистка околоземного космического пространства от космического мусора

Зеленцов В. В.^{1,*}

[*zelentsov33@gmail.com](mailto:zelentsov33@gmail.com)

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Как показывают наблюдения за ростом количества фрагментов космического мусора, различного размера, с каждым годом растет. Конструктивные мероприятия, применяемые при проектировании новых космических аппаратов не способны коренным образом изменить обстановку в околоземном космическом пространстве. Большое количество, ранее выведенных на орбиту и не работающих космических аппаратов, разгонных блоков и последних ступеней ракет-носителей находится в космосе и является потенциальным источником фрагментов космического мусора различного размера. Встает вопрос об удалении не работающих космических объектов с орбиты. В статье рассмотрены различные способы удаления как не работающих космических объектов, так и фрагментов разрушившихся аппаратов. Приведен анализ энергетических затрат, необходимых для увода космических объектов на высокие орбиты захоронения и захоронения в атмосфере Земли. Сделан вывод о целесообразности удаления фрагментов космического мусора с помощью космических кораблей типа «Буран». Это позволит не только удалить не работающие космические объекты, но и сохранить их, а после реконструкции вновь вывести в космос.

Ключевые слова: космический мусор, удаление, сеть, захват, зона захоронения, МТКК, снятие с орбиты, топливо, удельный импульс

Введение

Загрязнение околоземного космического пространства фрагментами механического космического мусора (КМ) непрерывно растет. Этому способствует запуск новых космических аппаратов, сопровождающийся оставлением на орбитах последних ступеней ракет-носителей (РН) и разгонных блоков (РБ), а также операционных элементов (части пироболтов, крышки двигательных установок и др.). На орбитах остаются и закончившие работу космические аппараты (КА). Весь КМ подразделяется на две категории: наблюдаемый, размером более 100 мм и не наблюдаемый размером менее 100 мм. По данным Европейского космического агентства на июль 2010 года в Каталоге Космического агентства США было зарегистрировано примерно 15500 наблюдаемых космических объектов (КО) техногенного происхождения, общая масса которых составляет примерно 6700 тонн. НА

рисунке. 1 представлен график иллюстрирующий рост количества КО, находящихся в околоземном космическом пространстве (ОКП), за период освоения космического пространства. По своему составу каталогизированные объекты, находящиеся в ОКП, состоят: космических аппаратов (КА) - 20% (из которых 6% работающие), ступеней РН и РБ - 11%, операционных элементов - 5% фрагментов разрушившихся КО - 64%. [1] Фрагменты КМ могут иметь размеры от нескольких метров (средства выведения КА) до долей миллиметра (осколки в результате взрывов и столкновений).

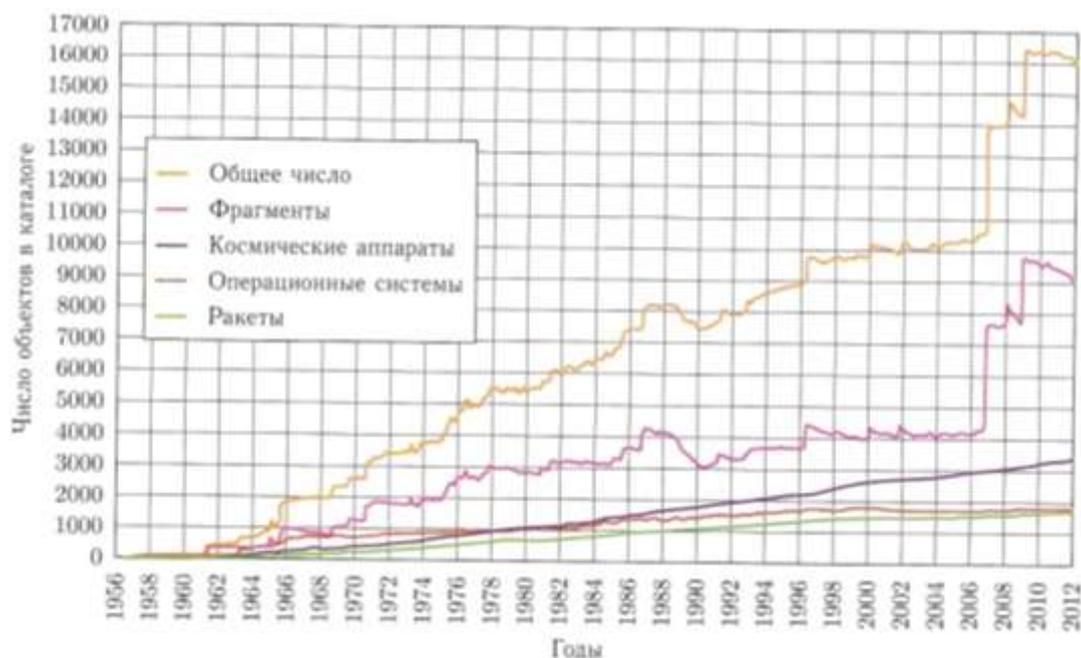


Рис.1 График изменения числа каталогизированных КО по времени. [1]

Встреча работающего КА с фрагментом наблюдаемого КМ прогнозируема и, за счет маневра, КА уклонится от возможной встречи, которая может стать катастрофой. Встреча работающего КА с фрагментами не наблюдаемого КМ (будем называть его мелким космическим мусором МКМ) не прогнозируется и может привести к серьезным повреждениям. МКМ образуется в результате разрушения КО (за период освоения космического пространства произошло 251 разрушение случайное или преднамеренное), а также в результате столкновений фрагментов КМ между собой (эффект Кesslera). Образующийся в результате разрушений и при столкновении МКМ способен нанести большой ущерб работающим спутникам. За шесть лет пребывания на орбите спутника-платформы LDEF (США), после возвращения его на Землю было обнаружено около 500 пробоин и вмятин от частиц искусственного происхождения размером от 0,01 см и более. Аналогичные повреждения имели место и на «Спейс Шаттл». [2] Следовательно, для обеспечения безопасности космических полетов необходимо принимать меры по предупреждению встречи крупных фрагментов КМ с работающими КА и защиты от мелкого КМ, а еще лучше прекратить мусорить в ОКП и очистить космос от имеющегося КМ.

1. Предлагаемые способы удаления фрагментов космического мусора.

В литературе рассматриваются два метода борьбы с КМ – пассивный и активный. Первый заключается в том, что при прогнозируемой встрече с фрагментом КМ, КА совершает маневр уклонения, что неоднократно проделывала Международная космическая станция (МКС), Вокруг МКС создана зона безопасности, получившая в США название «коробка для пиццы», если траектория зарегистрированного фрагмента КМ проходит через эту зону, то станция совершает маневр уклонения. От МКМ КА защищают с помощью защитных панелей или усиления конструкции. Второй – подразумевает удаление фрагментов КМ с орбиты в атмосферу Земли (где они должны сгорать) или на высокую орбиту захоронения. В работе дан подробный анализ. [3] методов очистки ОКП от МКМ. Предлагаются следующие способы удаления фрагментов КМ: 1. захват фрагмента КМ с помощью сети (4,5); 2. Захват фрагмента КМ с помощью специальных захватов (6,7,8,9); 3. Захват с помощью гарпуна (10); 4. Торможение фрагмента КМ с помощью лазерного луча (11,12); 5. Торможение фрагментов КМ с помощью сетей, баллонов и др. (13,14,15).

При рассмотрении предлагаемых способов видно, что для реализации каждого из них необходимо выводить на орбиту специальный КА, оборудованный устройством для удаления фрагментов КМ. Это устройство имеет два решения: захват фрагмента и увод его на орбиту захоронения или в атмосферу Земли и торможение фрагмента, приводящее к сходу с орбиты и спуску в атмосферу Земли. В каждом из предложенных способов, кроме торможения с помощью лазера, установленного на поверхности Земли, необходимо вывести на орбиту КА, а это приводит к образованию новых фрагментов КМ (последние ступени РН, РБ и технологические элементы). Необходимы другие способы очистки ОКП от фрагментов КМ.

2. Меры по прекращению засорения очистке околоземного космического пространства от фрагментов космического мусора

Есть хорошая пословица «Чисто не там где убирают, а там, где не сорят». В государственном стандарте ГОСТ 52925-2008 [16] сформулированы основные принципы по предотвращению засорения ОКП на этапе проектирования КА. «Основными мерами ограничения техногенного засорения ОКП являются:

1. предотвращение образования КМ в процессе штатных операций космических средств;
2. предотвращение возможных разрушений космических средств, в том числе вследствие их взрыва;
3. увод с рабочих орбит космических средств после окончания их активного функционирования;
4. предупреждение столкновений космических средств на орбите; сокращение сроков баллистического существования космических средств после окончания их активного функционирования». В соответствии со стандартом превышение высоты орбиты

захоронения над орбитой КА, работающего на геостационарной орбите (ГСО) или высокой орбите определяется по формуле

$$235 + (1000C_R \frac{A}{m})$$

где 235 км – сумма верхнего предела защищаемой области ГСО по ее высоте (200 км.) и максимальных отклонений орбиты КА за счет возмущений, от воздействия Луны, Солнца и гравитационных потенциалов Земли; C_R - коэффициент давления солнечного излучения (обычно в пределах 1...2 км кг/м); A/m – отношение площади поперечного сечения КА к его массе, которая равна массе КА, после прекращения штатного функционирования и проведения пассивации м²/кг. Эксцентриситет орбиты захоронения, КА отработавших на ГСО не должен превышать 0,003.

Увод, в область захоронения, осуществляется с помощью специальных двигателей увода или собственной двигательной установки КА. При использовании специальных двигателей увода потребуется увеличение массы (топливо, конструкция баков, двигательная установка), при использовании собственных двигателей увеличение массы произойдет только за счет топлива и конструкции баков. Возможны два вида зон захоронения: высокие орбиты захоронения (ВОО), где фрагмент КА может находиться сотни лет и в атмосферу Земли, где фрагмент должен сгореть. Проведенные расчеты показывают, что масса топлива зависит от выбранной зоны, в которую уводится КА. Зона увода, а, следовательно, траектория увода, зависит от высоты орбиты, на которой находится КА. Существует высота, примерно равная 24300 км, при которой относительная масса топлива не зависит от вида траектории увода, а зависит только от величины удельного импульса и составляет от 10% до 40%,. . На рисунке 2 приведен график изменения относительной массы топлива, необходимой для захоронения, в зависимости от высоты орбиты КО и удельного импульса.

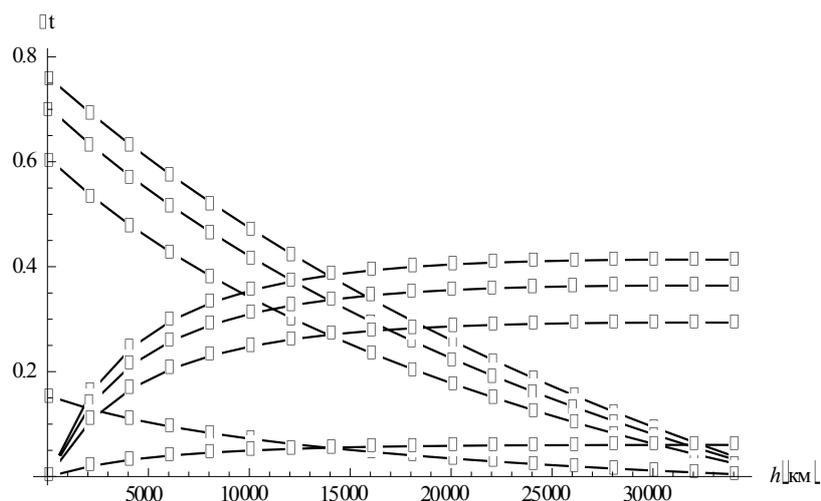


Рисунок 2. Зависимость относительной массы топлива, необходимого для увода КА в зону захоронения от размещения зоны захоронения: ■, ●, ▲, ▼ – увод на высокую орбиту захоронения; □, ○, △, ▽ – спуск в атмосферу Земли; и удельного импульса: ■, □ – 2800 м/с, ●, ○ – 3300 м/с, ▲, △ – 4300 м/с, ▼, ▽ – 24000 м/с.

где $\mu t = m_T/m_0$, m_T – масса топлива, m_0 – начальная масса КА/

Относительная масса топлива, необходимая для увода КО в зону захоронения, или спуска в атмосферу Землю, определялась по формуле К.Э. Циолковского. При расчетах принималось, что переход на высокую орбиту захоронения проводится по эллипсу Гомана, по двух импульсной схеме перелета. На рисунке 3 приведена зависимость относительной массы топлива, необходимого для увода спутника, работающего на ГСО на ВОО для захоронения, в зависимости от удельного импульса.

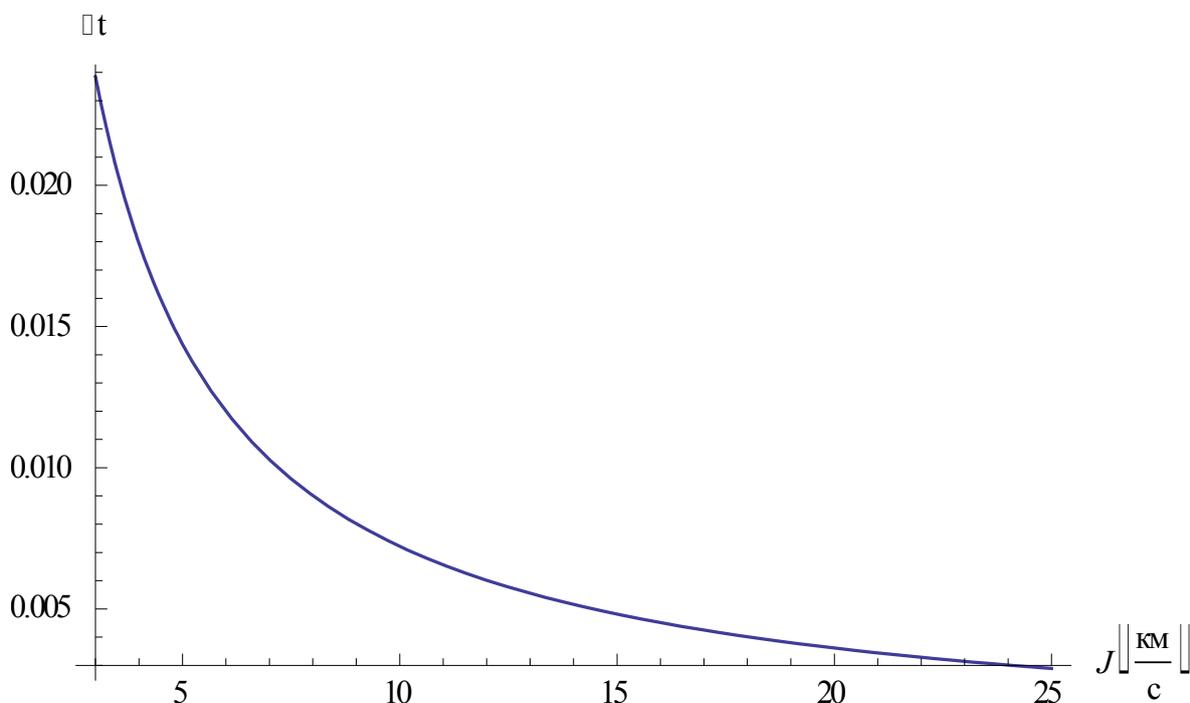


Рисунок 3 Зависимость относительной массы топлива, необходимой для увода КА, работающего на высокой орбите, от удельного импульса.

Как видно из графика относительная масса топлива необходимого для увода с ГСО в зону захоронения составляет от 3% и 0,3% при использовании ЖРД и ЭРД соответственно.

В качестве примера был проведен расчет увода на высокую орбиту захоронения спутника связи «Интелсат 18» (стартовая масса спутника - 3200 кг, сухая масса 1464 кг, форма кубическая, ребро куба 6,5 м). Параметры орбиты: высота апогея и перигея рабочей орбиты 35804 км и 35729 соответственно. [17] Превышение высоты захоронения над высотой полета спутника «Интелсат 18», рассчитанная по формуле, приведенной выше, составила 291 км, следовательно, высота захоронения должна быть не ниже 36100 км, в перигее. В результате расчетов масса топлива составит 3% или 96 кг и 0,025% и 8 кг топлива, при использовании ЖРД или ЭРД соответственно. Спуск в атмосферу Земли, также проводился по эллипсу Гомана, высота перигея орбиты спуска была выбрана на 20 км ниже принятой высоты условной атмосферы (100 км). Импульс торможения прикладывался по касательной. На рисунке 4 приведена зависимость относительной массы топлива необходимая для спуска в атмосферу Земли от высоты полета и удельного импульса.

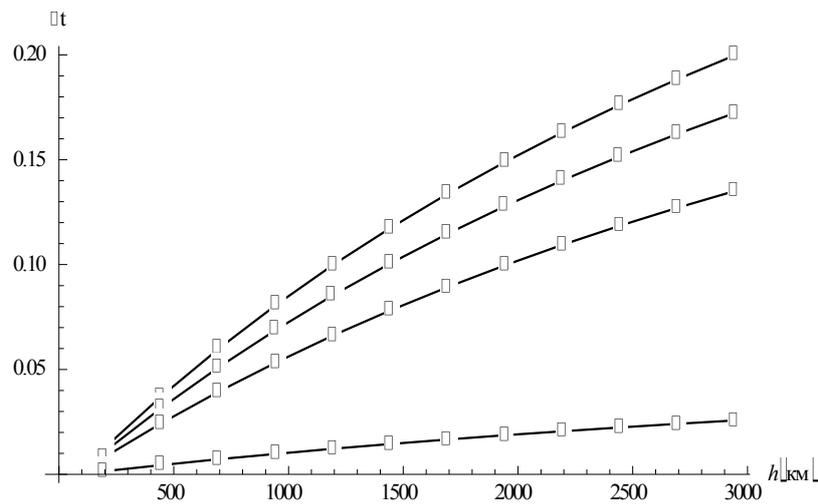


Рисунок 4 Зависимость относительной массы топлива, необходимого для спуска в атмосферу Земли от высоты и удельного импульса. Принято обозначение: □ – 2800 м/с, ○ – 3300 м/с, Δ – 4300 м/с, ▽ – 24000 м/с.

Как видно из графика, рисунок 4, относительная масса топлива в случае увода в атмосферу Земли с высоты ниже 1500 км составит не более 10% от массы аппарата, при использовании ЖРД и 2...3% при использовании ЭРД. В качестве примера был рассмотрен спуск в атмосферу Земли спутника «Ресурс-П» [18] (высота полета 475 км, масса 6276 кг). В результате расчета получено, что масса топлива составит : 12% или 753 кг и 2% или 125 кг топлива при использовании ЖРД или ЭРД соответственно.

С развитием навигационных спутников началось интенсивное использование области в районе высот 20000 км, которая была относительно свободна от фрагментов КМ. На рисунке 5 приведен график пространственной плотности фрагментов КМ различного размера по высоте. [19]

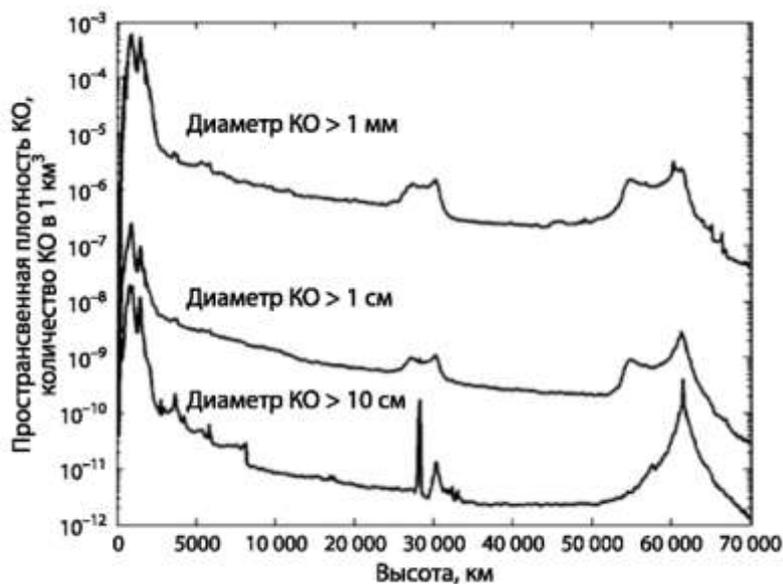


Рисунок 5 Пространственная плотность КО по высоте. [19]

Из графика (рисунок 2) следует, что увод с высоты 20000 км на ВОО или спуск в атмосферу Земли практически равнозначны и требуют относительной массы топлива, в области от 40% до 30% и от 10% до 8% , для ЖРД или ЭРД соответственно. Из приведенной выше формулы, для определения высоты захоронения спутников, для навигационных спутников можно создать зону захоронения в районе высот 21000 ...22000 км. При этом относительная масса топлива, необходимая для захоронения составит от 5% до 1% при использовании двигателей ЖРД или ЭРД соответственно. На рисунке 6 приведена зависимость относительной массы топлива необходимого для увода КА с высоты 20000 км на 22000 км с использованием различных двигателей.

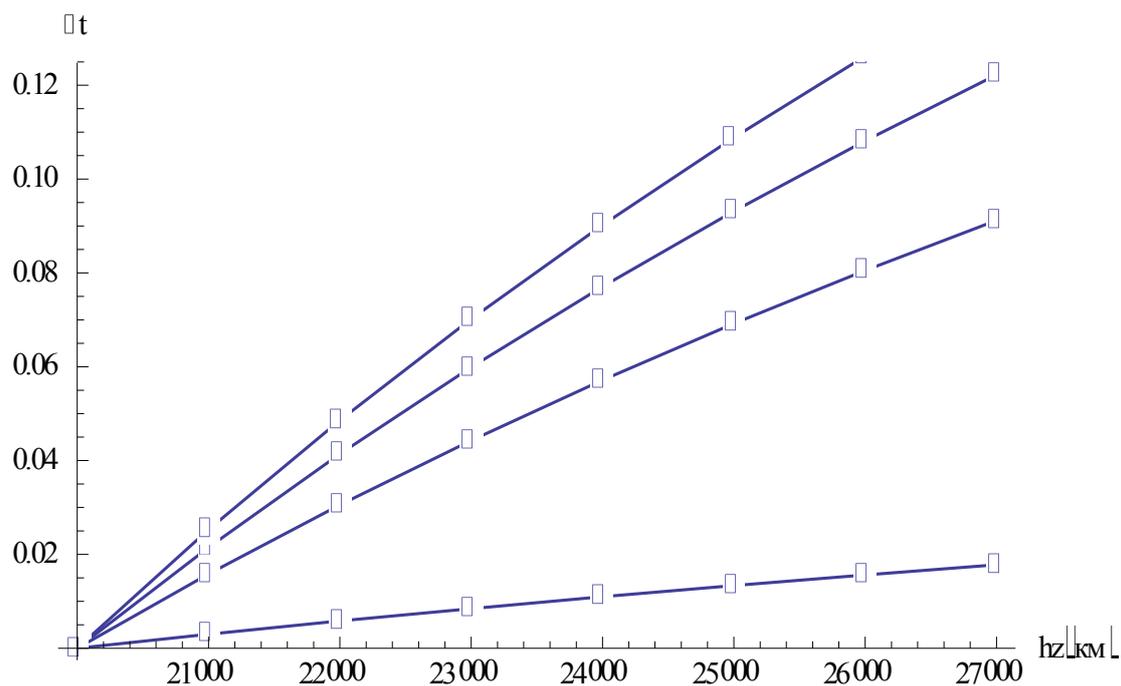


Рис.6 Зависимость относительной массы топлива необходимого для захоронения навигационных спутников, при удельном импульсе: ■ – 2800 м/с, ● – 3300 м/с, ▲ – 4300 м/с, ▼ - 24000 м/с

Проведенные расчеты показывают, что для спутника JPS-II [20], имеющего массу 835 кг и работающего на высоте 20183 км, относительная масса топлива, необходимого для увода на орбиту захоронения, в зависимости от величины удельного импульса, находится в пределах от 2% до 8%, и составляет 16...66 кг. Для увода в атмосферу Земли потребуется 210...334 кг топлива, а для увода на высокую орбиту захоронения, выше ГСО, 210...250 кг.

Увод спутника на высокую орбиту захоронения или в атмосферу Земли приводит к потере дорогостоящего аппарата. В таблице 1 приведена средняя стоимость изготовления и общая стоимость с учетом запуска спутников INTELSAT различных модификаций, в мил. \$. (Цены соответствуют годам запуска)

Таблица 1. Экономические показатели спутников связи и вещания организации Intelsat [21]

Серия ИСЗ, Головная организация по изготовлению (год заключения контракта)	Средняя стоимость изготовления спутника, млн. долл.	Общая стоимость ИСЗ с учетом запуска, млн. долл.	Гарантированный срок активного существования, лет
TELSAT-5AFord Aerospace (1976)	40	120	7
INTELSAT-6Hughes Aircraft (1982)	140	296	10
INTELSAT-7Ford Aerospace (1988)	78	200	10,9
INTELSAT-7AFord Aerospace (1990)	100	199,6	10,5
INTELSAT-8GE Astro Space (1992)	82,5	160,5	10
INTELSAT-8AGE Astro Space (1993)	н.д.	90	10
INTELSAT-9SS/Loral (1997)	121	221	13

Для сохранения спутника целесообразно снимать его с орбиты и доставить на Землю не вередимым. Это можно осуществить с помощью МТКК типа «Буран» и «Спейс Шаттл». В 1990 году космический корабль "Дискавери" STS-31 вывел на орбиту космический телескоп «Хаббл». В дальнейшем челноки пять раз летали к «Хабблу». Во время этих полетов космонавты проводили установку нового оборудования и устраняли поломки, которые имели место. [22] Операции по техническому обслуживанию и ремонту, с помощью МТКК «Спейс Шаттл» проводились на КА «Palapa-B2» и «Westar-6» в (1984г.) , «SFU» (1996 г.) и др.. [23] Это свидетельствует о том, что с помощью МТКК можно как выводить новые КА на различные высоты, так и снимать отработавшие свой срок аппараты и возвращать их на Землю. После модернизации и ремонта эти аппараты можно снова вывести в космос. Это позволит значительно сократить стоимость КА и сроки его изготовления. Одновременно с проблемой выведения и спуска решается проблема засорения поверхности Земли падающими на Землю ступенями ракет-носителей и не сгоревшими фрагментами КМ. Многоразовый транспортный аппарат должен стартовать либо с самолета носителя или с Земли «по самолетному». Подобные аппараты разрабатывались в 80-90-х годах прошлого столетия. Это: МАКС и МигАКС – Россия, «Зандер» - Германия, NASP IFF - США, стартующие с самолета носителя; «Хоттол» - Великобритания и NASP НТО – США, стартующие с разгонной тележки. К сожалению, работы по разработке подобных аппаратов заглохли. Эти аппараты можно было бы использовать в двух вариантах. Пилотируемые, обслуживающие космические системы на низких орбитах и автоматические для работы на средних и высоких орбитах. Пример полета «Бурана» показал, что все фазы космического полета можно выполнять в автоматическом режиме. Решить проблему

МКМ значительно сложнее. Собрать в ОКП фрагменты размеры, которых от долей мм до 100 мм (не наблюдаемый КМ) намного сложнее, чем крупные фрагменты. Это возможно только с помощью ловушек (сетей, тормозящих устройств и др.). КА, на которых устанавливаются ловушки, должны выводиться в космос с помощью многоразовых транспортных средств. Фрагменты КМ, оказавшиеся на НОО, тормозятся атмосферой и время существования их в ОКП не превышает одного года.

Выводы

1. Решение проблемы очистки ОКП от фрагментов КМ заключается в том, что необходимо прекратить продолжать мусорить в космосе. Для этого предприятия разработчики комической техники должны при разработке проекта КА (или другого космического объекта) решить, куда он будет уводиться после выработки своего ресурса для захоронения, и предусмотреть необходимый для этого запас топлива.
2. Очистку ОКП от МКМ необходимо производить с помощью ловушек, захватывающих фрагменты МКМ и уводящих на орбиты захоронения или, тормозящих устройств, снижающих скорость фрагментов, что приведет к снижению их в атмосферу Земли.
3. Для эффективной очистки ОКП от наблюдаемых фрагментов КМ и прекращению засорения его и поверхности Земли ступенями РН и РБ необходимо возобновить работы по разработке МТКК, предназначенных для выведения КА в космос и снятия с орбиты, наблюдаемых фрагментов КМ. С помощью МТКК можно проводить ремонтные работы КА в космосе, что в свою очередь сократит количество КМ в ОКП.

Список литературы

1. Космический мусор. Кн. 1: Методы наблюдения и модели космического мусора / Под ред. Г.Г. Райкунова. Кн. 1: Методы наблюдения и модели космического мусора. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014. 244 с.
2. Мохаммад С.А. Международно-правовые аспекты борьбы с негативными экологическими последствиями космической деятельности // Евразийский юридический журнал. 2010. № 7 (26). С. 115-119.
3. Майорова В.И., Леонов В.В., Гришко Д.А. Анализ подходов к очистке околоземного космического пространства от объектов космического мусора размером менее 10 см // Аэрокосмический научный журнал. Электрон. журн. 2016. № 1. С. 14-26.
DOI: [10/7463/aersp.0116.0833914](https://doi.org/10.7463/aersp.0116.0833914)
4. ROGER-Phase A: Final report: Executive Summary / EADS Space Transportation. Bremen, 2003. Режим доступа:
<https://gsp.esa.int/documents/10192/43064675/C15706ExS.pdf/18bb5154-fa12-44f0-a240-d84672ac49d5> (дата обращения 11.10.2015).

5. Япония готовится начать очистку космоса от мусора при помощи металлической сети, длиной 300 метров. Режим доступа <http://future-science.ru/japonija-gotovitsja-nachat-ochistku-kosmosa-ot.htm> (дата обращения 01.03.2016).
6. Robinson E.Y. Spacecraft for removal of space orbital debris: US Patent 6655637 B1. Режим доступа: <http://www.google.com.tr/patents/US6655637> (дата обращения 18.01.2016).
7. Швейцарцы строят уборщик космического мусора. Режим доступа: <http://nlo-mir.ru/kosmoss/34894-shvejcarcy-strojat-uborschik-kosmicheskogo-musora.html>
8. Griebel H.S. Method for modifying a position of uncontrolled objects in space and spacecraft for realizing the method: Germany Patent EP 2860115 A1. Режим доступа: <http://www.google.com/patents/EP2860115A1?cl=en> (дата обращения 01.02.2016).
9. Kitazawa Yu., Kawabe A., Hashimoto K., Sonehara M., Uji M., Morita Sh., Nomura K., Nakanishi K. Device for removing space debris and method for removing space debris: Japan Patent WO 2013065795 A1. 2013. Режим доступа: <http://www.google.com/patents/WO2013065795A1?cl=en> (дата обращения 20.03.2016).
10. Савельев Б.И. Многоразовый космический аппарат-буксир для уборки космического мусора: Патент РФ 2510359. Режим доступа: <http://www.findpatent.ru/patent/251/2510359.html> (дата обращения 14.12.2015).
11. Космический мусор предложено сжигать лазером. Режим доступа: <http://earth-chronicles.ru/news/2014-05-01-64585/> (дата обращения 01.03.2016).
12. Космический мусор на орбите можно «расстреливать» с помощью лазера. Режим доступа: <http://shnapsus.ru/2011/08/01/kosmicheskij-musor-na-orbite-mozhno-rasstrelivat-s-promoshhu-lazera/> (дата обращения 20.01.2016).
13. Хель И. Как очистить орбиту от космического мусора? Режим доступа: <http://hi-news.ru/space/kak-ochistit-orbitu-ot-kosmicheskogo-musora.html> (дата обращения 12.02.2016).
14. Дубрович В. К., Щесняк С. С. Способ очистки космоса от объектов космического мусора: пат. 2478062 Российская Федерация. 2012. Бюл. № 9. 8 с. Режим доступа: <http://www.findpatent.ru/patent/247/2478062.html> (дата обращения 22.03.2016).
15. Хель И. Семь способов борьбы с космическим мусором. Режим доступа: <http://hi-news.ru/space/sem-sposobov-borby-s-kosmicheskim-musorom.html>
16. ГОСТ Р 52925-2008. Изделия космической техники. Общие требования к космическим средствам по ограничению техногенного засорения околоземного космического пространства. Введ. 2008-06-09. М.: Стандартиформ, 2008. 8 с.
17. Intelsat-18. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Intelsat-18> (дата обращения 14.12.2015).
18. Ресурс-П. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki> (дата обращения 12.12.2015).
19. Распределение космического мусора. Ч. I. Режим доступа: <http://unnatural.ru/debris-distribution> (дата обращения 05.09.2015).

20. GPS. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/GPS> (дата обращения 22.01.2016).
21. Анпилогов В.Р. Эффективность и стоимость геостационарных ИСЗ фиксированной связи и вещания. Режим доступа: http://www.vsat-tel.ru/library/art_17.htm (дата обращения 04.05.2016).
22. Богданов К. Постоянство «Хаббла». Режим доступа: <http://ria.ru/analytics/20100423/225899056.html> (дата обращения 4.05.2016).
23. Крючков Б.И., Довженко В.А. Стратегии проведения технического обслуживания и ремонта на орбите экипажами пилотируемых космических аппаратов // Пилотируемые полеты в космос. 2014. № 3 (12). С. 25-46.

Space Debris Removal from the Near-Earth Space

V.V. Zelentsov^{1,*}

[*zelentsov33@gmail.com](mailto:zelentsov33@gmail.com)

¹Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

Keywords: space debris, removal, network, grapple fixture, the burial area, Space Shuttle, removal from orbit, the fuel, specific impulse

The article deals with issues related to the removal of man-made space debris (SD) from the near-Earth space. SD is divided into observed (a typical size of over 100 mm) and unobserved ones. When encountering the observed SD, a spacecraft takes evasive maneuvers by changing the height. The International Space orbital station used to commit this maneuver more than once. Panels protect a spacecraft from unobserved debris. SD has emerged from the former used satellites, vehicle stages, and boosters still available on orbit, as well as a result of their destruction in case of explosion and collision. A large number of projects on removal of the near-Earth space from both the observed and the unobserved fragments of SD have been recently under development. There are offerings to remove SD via grapple fixtures, mesh-works, harpoons, etc. All anti-debris means are placed in the spacecraft (SC) and boosted into an orbit, and vehicle stages and boosters still remain on the orbit. Russia has set a Standard, which specifies the SD counter-measures. It gives recommendation for choosing the way of its disposal and dimensioning the fuel mass required for disposal in the dumping area. Selection of the dumping area depends on the altitude of a SD fragment. For high orbits the dumping area is selected according to GOST formulas. From the low orbits the fragments should be taken away to the Earth's atmosphere where they should be burned up. The calculations presented in the article show that with dumping area chosen properly the fuel mass required for maneuver is 10 - 15%. However, given the high cost of the spacecraft and its launch into orbit it is advisable to use the shuttle type vehicles similar to "Buran" and "Space Shuttle" to retrieve the spacecraft from the orbit. Space Shuttles were used to do similar work. This will allow preventing from near-Earth's space debris due to available final vehicle stages and boosters, and, what is most important, after modernization and renovation the shuttle-retrieved spacecraft can be re-launched into space by the Space Shuttle. The special devices decelerate unobserved space debris of small size, which is moved to the low orbits and then into the Earth's atmosphere.

References

1. *Kosmicheskij musor* [Space debris]. *Kniga 1: Metody nablyudeniia i modeli kosmicheskogo musora*. [Book 1: Methods for monitoring space debris and the model] / Ed. by G.G. Raykunov. Moscow: Fizmatlit Publ., 2014. 244 p. (in Russ.).
2. Mohammad S.A. International legal aspects of combating the negative environmental consequences of outer space activities. *Evrazijskij yuridicheskij zhurnal* [Intern. scientific and practical law journal], 2010, no. 7 (26), pp.115-119 (in Russ.).
3. Majorova V.I., Leonov V.V., Grishko D.A. Analysis of approaches to the near-Earth orbit cleanup from space debris of the size below 10 cm // *Aerokosmicheskij nauchnyj zhurnal* [Aerospace Scientific Journal]. Electronic journal, 2016, no. 1, pp. 14-26.
DOI: [10.7463/aersp.0116.0833914](https://doi.org/10.7463/aersp.0116.0833914) (in Russ.)
4. ROGER-Phase A: Final report: Executive Summary / EADS Space Transportation. Bremen, 2003. Available at:
<https://gsp.esa.int/documents/10192/43064675/C15706ExS.pdf/18bb5154-fa12-44f0-a240-d84672ac49d5>, accessed 11.10.2015.
5. *Iaponia gotovitsia nachat' ochistku kosmosa ot musora s pomosch'yu metallicheskoj seti dlinoj 300 metrov* [Japan is preparing to launch space clean of debris with a wire network 300 m long]. Available at: <http://www.dailytechinfo.org/space/5556-yaponiya-gotovitsya-nachat-ochistku-kosmosa-ot-musora-pri-pomoschi-metallicheskoj-seti-dlinoj-300-metrov.html> (in Russ.) <http://future-science.ru/japonija-gotovitsja-nachat-ochistku-kosmosa-ot.htm>, accessed 01.03.2016.
6. Robinson E.Y. Spacecraft for removal of space orbital debris: US Patent 6655637 B1. Available at: <http://www.google.com.tr/patents/US6655637>, accessed 18.01.2016.
7. *Shvejtsartsy stroiat uborschik kosmicheskogo musora* [The Swiss are building cleaner debris]. Available at: <http://nlo-mir.ru/kosmoss/34894-shvejtsartcy-stroiat-uborschik-kosmicheskogo-musora.html> (in Russ.).
8. Griebel H.S. Method for modifying a position of uncontrolled objects in space and spacecraft for realizing the method: Germany Patent EP 2860115 A1. Available at: <http://www.google.com/patents/EP2860115A1?cl=en>, accessed 01.02.2016.
9. Kitazawa Yu., Kawabe A., Hashimoto K., Sonehara M., Uji M., Morita Sh., Nomura K., Nakanishi K. Device for removing space debris and method for removing space debris: Japan Patent WO 2013065795 A1. 2013. Available at: <http://www.google.com/patents/WO2013065795A1?cl=en>, accessed 20.03.2016.
10. Saveliev B.I. *Mnogorazovyj kosmicheskij apparat-buksir dlia uborki kosmicheskogo musora* [Reusable spacecraft-a tug for cleaning space debris]. Patent RF, no. 2510359. Available at: <http://www.findpatent.ru/patent/251/2510359.html>, accessed 14.12.2015 (in Russ.).

11. *Kosmicheskij musor predlozhenno szhigat' lazerom* [Space debris prompted the laser burn]. Available at: <http://earth-chronicles.ru/news/2014-05-01-64585/>, accessed 01.03.2016 (in Russ.).
12. *Kosmicheskij musor na orbite mozhno rasstrelivat s pomoshch'yu lasera* [Space debris in orbit can be "shot" with a laser]. Available at: <http://shnapsus.ru/2011/08/01/kosmicheskij-musor-na-orbite-mozhno-rasstrelivat-s-pomoshhyu-lazera/>, accessed 20.01.2016 (in Russ.).
13. Khel' I. *Kak ochistit' orbitu ot kosmicheskogo musora?* [How to clean the debris from orbit?] Available at: <http://hi-news.ru/space/kak-ochistit-orbitu-ot-kosmicheskogo-musora.html>, accessed 12.02.2016 (in Russ.).
14. Dubrovich V.K., Schesniak S.S. *Sposob ochistki kosmosa ot objektov kosmicheskogo musora* [Method of cleaning space debris objects]. Patent RF, no. 2478062. 2012. Available at: <http://www.findpatent.ru/patent/247/2478062.html>, accessed 22.03.2016 (in Russ.).
15. Khel' I. *Sem' sposobov bor'by s kosmicheskimi musorami* [Seven ways to combat space]. Available at: <http://hi-news.ru/space/sem-sposobov-borby-s-kosmicheskimi-musorami.html> (in Russ.).
16. *GOST R 52925-2008. Izdeliia kosmicheskoi tekhniki. Obshchie trebovaniia k kosmicheskimi sredstvami po ogranicheniyu tekhnogennogo zasoreniia okolozemnogo kosmicheskogo prostranstva* [Standard R 52925-2008. Articles of space technology. General requirements for the cosmic-sky means for limiting debris in near-Earth Outer Space]. Moscow: Standartinform Publ., 2008. 8 p. (in Russ.)
17. Intelsat-18. Available at: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Intelsat-18>, accessed 14.12.2015 (in Russ.).
18. *Resurs-P* [Resource-P]. Available at: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Resurs-P>, accessed 12.12.2015 (in Russ.).
19. *Raspredelenie kosmicheskogo musora. I* [Distribution of space debris. Pt. I]. Available at: <http://unnatural.ru/debris-distribution>, accessed 05.09.2015 (in Russ.).
20. GPS. Available at: <https://ru.wikipedia.org/wiki/GPS>, 22.01.2016 (in Russ.).
21. Anpilogov V.R. *Effektivnost' i stoimost' geostatsionarnykh ISZ fiksirovannoj svyazi i veschaniia* [Efficiency and cost of geostationary satellites fixed communications and broadcasting]. Available at: http://www.vsat-tel.ru/library/art_17.htm, accessed 04.05.2016 (in Russ.).
22. Bogdanov K. *Postoianstvo «Habbla»* [Persistence of "Hubble"]. Available at: <http://ria.ru/analytics/20100423/225899056.html>, accessed 4.05.2016 (in Russ.).
23. Kryuchkov B.I., Dovzhenko V.A. The strategies of maintenance and repair operations performed by crews of manned spacecraft in orbit. *Pilotiruemye polity v kosmos* [Manned flights and space], 2014, no. 2 (12), pp. 25-46 (in Russ.).