

УДК 629.78

С.И. КУШНИРЕНКО, В.Е. ШЕВЦОВ*Днепропетровский национальный университет им. Олесья Гончара, Украина*

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ДВИГАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ БОРЬБЫ С ЗАСОРЕНИЕМ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

В статье рассматривается проблема возникновения техногенного космического мусора. Описываются методы борьбы и защиты от опасных космических объектов. Предложен вариант решения проблемы образования техногенного космического мусора путем доработки конструктивно-компоновочных схем космических аппаратов (КА). На этапе проектирования в состав основных подсистем включается дополнительная подсистема для предотвращения образования космического мусора. Рассмотрена возможность использования некоторых типов двигательных установок (ДУ) для снятия КА с рабочих орбит или перевода на орбиты захоронения.

Ключевые слова: космический аппарат, космический мусор, космический объект, орбита захоронения, двигательная установка, относительный запас топлива.

Введение

За пятидесятилетнюю историю освоения космического пространства на орбитах Земли накопились отработавшие КА, ракетные блоки, обломки КА и ракетных блоков, что взорвались (источниками взрыва могут служить столкновения с другими космическими объектами (КО), остатки топлива в баках, аккумуляторы, газовые баллоны и т.д.), а также макеты КА, что запускались ранее и запускаются до сегодняшнего дня новыми ракетами-носителями. Все это называют космическим мусором (КМ). В последнее время проблема КМ привлекает внимание все большего числа ученых, каждый из которых предлагает собственные пути для её решения. По данным различных комиссий и ведомств на околоземных орбитах находится более 30000 КО, поперечный размер которых более 1 см, частиц же менее 1 см в диаметре – миллионы. Каталог Системы контроля космического пространства (СККП) США насчитывает более 100000 опасных КО диаметром более 5 мм, в каталоге Европейского космического агентства таких объектов около 45000 [1;2].

Наибольшее число наблюдаемых объектов находится на низких околоземных орбитах высотой до 500 км. Далее по числу наблюдаемых объектов следует геостационарная орбита, высотой ~36 тыс. км.

На сегодняшний день политика космических ведомств и международных организаций относительно опасных орбитальных объектов только формируется, но исследования состояния засоренности околоземного космического пространства уже вызывают изменения в планах и деятельности некото-

рых ведомств. Политика и деятельность в одних случаях мотивируется необходимостью защитить космические аппараты, в других – не допустить распространения обломков.

В статье рассматривается вариант решения проблемы образования КМ с точки зрения проектанта космической техники.

1. Постановка задачи

Исследование потоков орбитальных фрагментов и возможные способы борьбы с КМ идет по четырем основным направлениям:

- I – выявление и наблюдение за КО;
- II – защита от КМ;
- III – сбор и уничтожение КМ;
- IV – предотвращение образования КМ.

Методами первой группы ведется наблюдение и контроль за движением КО. Вторая группа разрабатывает средства защиты экипажа и оборудования от КМ, используя специальные экраны (экраны Уиппла) и защитные покрытия. Учитывая степень засоренности околоземного пространства, КА обязательно должен иметь средства защиты наиболее уязвимых элементов и систем. Методы первых двух групп не уменьшают общей массы опасных объектов в космическом пространстве, а лишь учитывают наличие мусора в космосе.

Третья группа методов рассматривает различные способы улавливания и сбора осколков КМ. Некоторые из них предполагают уничтожение КМ непосредственно на орбите, некоторые – рассматривают возможность доставки такого груза на Землю.

Методы третьей группы требуют значительных финансовых затрат на разработку и использование систем улавливания КО.

Четвертая группа разрабатывает средства предотвращения образования КМ при выведении на орбиту, функционировании, и после завершения срока активного существования КА.

Выбор того или иного метода борьбы с засорением космического пространства будет, по сути, компромиссом между эффективностью его использования и стоимостью реализации [1].

Учитывать степень техногенного засорения околоземного космического пространства необходимо уже на этапе проектирования КА при разработке конструктивно-компоновочной схемы (ККС). При этом вводятся дополнительные ограничения, учитывающие возможность превращения КА в КМ после окончания периода активного функционирования. Доработка ККС и учет такого рода ограничений осуществляются путем перераспределения массы между основными системами жизнеобеспечения (СЖО) с целью резервирования части общего веса спутника для создания системы самоликвидации КА. В состав основных СЖО КА входят:

- целевая аппаратура (ЦА);
- система энергопитания (СЭП);
- система управления ориентации и стабилизации (СУОС);
- система терморегулирования (СТР);
- бортовой цифровой вычислительный комплекс (БЦВК);
- бортовая кабельная сеть (БКС);
- конструкция как отдельная подсистема.

К настоящему времени разработано множество вариантов перечисленных подсистем, что существенно усложняет процедуру статистической обработки данных при выборе состава служебных подсистем при проектировании КА в целом [3].

Система самоликвидации КА должна быть, с одной стороны, унифицированной, с другой – учитывать высоту орбиты, массово-габаритные характеристики КА, а также время, необходимое для увода спутника.

Предлагаемая система самоликвидации КА представляет собой двигательную установку с дополнительными запасами рабочего тела на борту КА, необходимого для её функционирования. При этом можно использовать двигатель, установленный на КА для выполнения полетного задания (активные КА), либо предусмотреть для этой цели отдельный двигатель с необходимыми подсистемами. Чтобы иметь возможность выполнять подобного рода маневры, традиционные проекты КА нуждаются в соответствующих модификациях. Многие аппараты (а тем более макеты КА) не имеют собственных двига-

телей и систем коррекции орбиты. Также могут понадобиться более мощные системы энергопитания, сложные командные системы для длительного сохранения работоспособности и возможности выполнения маневров торможения. Учитывая то, что проектант находится в рамках финансовых и массовых ограничений, связанных с возможностями современных ракет-носителей, а комплектация предлагаемой подсистемой не только усложняет компонование, но и существенно снижает экономическую эффективность проекта, – разработка и внедрение такой подсистемы должны быть полностью оправданы, а сама система отработанной и надежной.

2. Снятие КА с орбит

Используя статистические данные показателей относительной массы подсистем КА, можно найти ту часть общей массы спутника, которая будет зарезервирована под увеличение относительной массы целевой аппаратуры или под установку системы увода КА. При использовании различных вариантов комплектующих подсистем можно выиграть запас по массе до 6 – 10 процентов от общего веса спутника.

Приведенные в работе расчеты носят характер расчетов первого приближения, так как основаны на статистических весовых коэффициентах подсистем космических аппаратов.

Для увода КА с рабочих круговых орбит рассматривалась схема одноимпульсного перехода между компланарными орбитами по Гомановской траектории. Проектным параметром, характеризующим дополнительную массу топлива, необходимую для увода спутника в плотные слои атмосферы, выступает относительный запас топлива μ_T на борту активного КА, который определяется по формуле:

$$\mu_T = 1 - \exp\left(-\frac{\sum \Delta V_i}{g \cdot P_{уд.п.}}\right), \quad (1)$$

где ΔV_i – импульс, необходимый для выполнения i -й операции КА по совершению маневра изменения параметров орбиты;

g – ускорение свободного падения;

$P_{уд.п.}$ – удельная тяга в пустоте.

Используя выражение 1, а также статистические весовые коэффициенты подсистем ДУ [3, 4], итерационным путем были рассчитаны максимальные высоты, с которых можно увести КА массой 200 кг (прототип спутника «Сич-2»), находящийся на рабочей круговой орбите.

Максимальная высота спуска рассчитывалась исходя из условия, что вес системы самоликвидации

КА, состоящей из двигателя, топлива и систем обеспечения работы ДУ, не превышает 10% от общего веса активного КА.

Ниже в табл. 1 приведены характеристики двигателей, используемых в расчетах.

Результаты расчетов максимальных высот спуска КА на Землю приведены на рис. 1.

3. Орбиты захоронения КА

В качестве следующего варианта решения проблемы КМ рассматривается вопрос выбора орбиты захоронения КА.

Существуют диапазоны орбит, на которых функционирует большинство КА – это орбиты высотой от 200 до 500 (800) км, от 800 до 2000 км, орбиты действия спутниковых систем GLONASS и NAVSTAR (высотой порядка 20000 км), а также геостационарная орбита. Для каждого из этих диапазонов создается своя орбита захоронения, на 200-300 км выше верхней границы диапазона. Для орбит высотой 200-500 км более целесообразным представляется погружение КА в атмосферу Земли с его полным или частичным сгоранием в плотных слоях.

Следует отметить, что перевод КА на орбиты высотой меньше, чем 35786 км (высота геостационарной орбиты), значительно увеличивает риск

столкновений КА, выводимых на высокие круговые и высокоэллиптические орбиты, с объектами на орбитах захоронения. Кроме того, значительно возрастает риск столкновений на орбитах-могильниках. Такие орбиты захоронения могут рассматриваться только как кратковременные меры в борьбе с засорением космоса. Рассмотренные ограничения диктуют необходимость разработки методов сбора КА на указанных высотах.

Для исследования возможности перевода КА с рабочей круговой орбиты на компланарную круговую орбиту захоронения использовалась схема двухимпульсного перехода. Вес данной подсистемы рассчитывался по методике, описанной выше. При этом суммарный вес ДУ с рабочим телом не превышал 10% от общего веса АКА.

Результаты расчетов максимальных высот орбит захоронения при использовании ДУ, рассмотренных выше, представлены на рис. 2. Высота рабочей круговой орбиты КА составляла 2000 км.

Главный недостаток предлагаемой системы – увеличение общей массы КА за счет использования ДУ с дополнительным топливом на борту. В свою очередь, требуется обеспечить включение двигателя в нужный момент после окончания срока активного существования КА. Кроме того, двигатель должен оставаться функциональным и в случае досрочного (аварийного) завершения миссии аппарата.

Таблица 1

Двигатели, используемые в расчетах

Разработчик	Название двигателя	Тип	Тяга двигателя, Н	Удельная тяга, с	Масса двигателя, кг
КБ "Южное"	ДУ с РН "Циклон-3"	ЖРД	100	260	1,45
	ДУ с КА "Океан-О"	ЖРД	30	260	1,3
	Газореактивная ДУ	ГРД	0,1...0,2	71	
	Д-50	ЭРД	0,04	1 600	
ОКБ "Факел"	СПД-25	ЭРД	0,007	1 000	
	СПД-35	ЭРД	0,01	1 200	0,4
	СПД-50	ЭРД	0,02	1 250	0,8
	СПД-60	ЭРД	0,03	1 300	1,2
	СПД-70	ЭРД	0,04	1 450	1,5
	СПД-100	ЭРД	0,083	1 600	3,5
	PPS-1350	ЭРД	0,084	1 668	3,5
Разработки центра Келдыша	Т-100	ЭРД	0,083	1 630	
	Т-160	ЭРД	0,288	1 817	
	КМ-32	ЭРД	0,006...0,017	800...1 600	
	КМ-45	ЭРД	0,01...0,028	1 000...1 800	
НИИ МАШ	МД5	ГРД	4,9	68,67	0,35
	МД08	ГРД	0,8	165,7	0,25
	МД08-02	ГРД	0,8	165,7	0,066
	РДМТ 17Д16	ЖРД	196,2	257	7
КБ им. Исаева	ДОТ-5	ЖРД	5	225,5	0,9
	ДМТ-6	ЖРД	6	245,2	0,9
	ДСТ-25	ЖРД	25	279	0,9

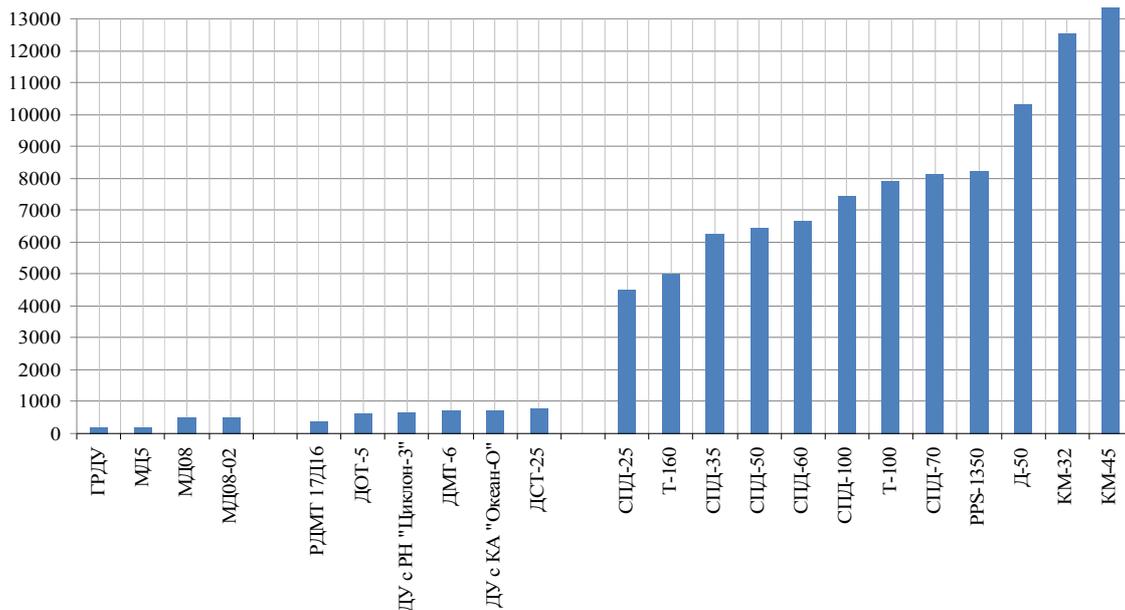


Рис. 1. Зависимость высоты спуска от типа ДУ

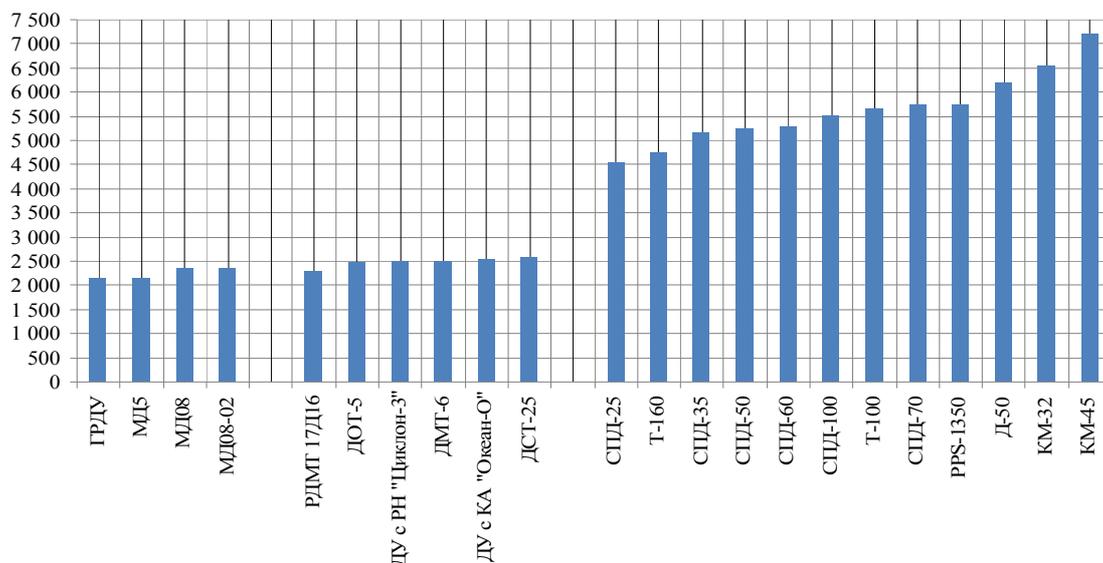


Рис. 2. Зависимость высоты подъема от типа ДУ

Заключение

В данной статье была рассмотрена проблема образования и распространения космического мусора, а также оговорены возможные пути ее решения. Вопрос борьбы с образованием опасных для космических миссий объектов рассматривают многие ученые и инженеры ракетно-космической техники. Для ее решения предложено большое количество разнообразных методов и проектов с использованием как пассивных, так и активных методов борьбы с образованием и уничтожением техногенного КМ.

Оптимальным направлением на данном этапе разработки средств борьбы с техногенным засорением околоземного космического пространства является доработка стандартных конструктивно-

компоновочных схем на этапе проектирования КА. При этом резервируемая доля общей массы КА под установку системы предотвращения образования КМ не превышает 10%. Как показали расчеты, такое резервирование возможно при использовании определенного состава подсистем путем варьирования и анализа статистических коэффициентов при расчетах первого приближения на этапе разработки эскизного проекта КА.

Подводя итог проведенному исследованию, можно предложить следующие рекомендации по решению проблемы техногенного засорения космического пространства:

1) рекомендовать доукомплектацию ККС КА дополнительной подсистемой, предотвращающей образование техногенного космического мусора,

которая будет либо уводить КА с рабочей орбиты на Землю, либо переводить его на требуемую орбиту захоронения. Эта система должна входить в состав основных СЖО КА;

2) при использовании подсистемы самоликвидации рекомендуется выбирать тип двигательной установки в зависимости от параметров рабочей орбиты КА:

– для низких орбит (высотой до 500 км) – газореактивные ДУ;

– для орбит от 500 до 1000 км – жидкостные ДУ;

– для более высоких орбит (от 4000 до 13000 км) – электрореактивные ДУ (ЭРДУ);

3) для быстрого изменения высоты рабочей орбиты КА необходимо использовать ЖРДУ или некоторые виды ГРДУ. Если время перевода КА не ограничено, то более целесообразным будет использование для данной цели ЭРДУ;

4) при проектировании КА следует рекомендовать резервировать часть массы аппарата под разработку системы предотвращения образования КМ

как наиболее эффективное средство борьбы с дальнейшим засорением околоземного космического пространства.

Литература

1. Вениаминов, С.С. Космический мусор – угроза человечеству [Текст] / С.С. Вениаминов, А.М. Червонов. – М.: Ротапринт ИКИ РАН», 2012. – 192 с.

2. Техногенное засорение околоземного космического пространства [Текст]: отраслевое пособие / под ред. А.П. Алпатова. – Днепропетровск: Пороги, 2012. – 378 с.

3. Гуцин, В.Н. Основы устройства космических аппаратов [Текст] / В.Н. Гуцин. – М.: Машиностроение, 2003. – 272 с.

4. Шевцов, В.Ю. Проектування космічних апаратів [Текст]: навч. посібник / В.Ю. Шевцов. – Дніпропетровськ: РВВ ДНУ, 2008. – 100 с.

5. Доклад Межведомственной группы по космосу Совету национальной безопасности по проблемам засорения космического пространства. – Вашингтон, февраль 1989. – 129 с.

Поступила в редакцию 29.05.2013, рассмотрена на редколлегии 14.06.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. каф. проектирования и конструкций С.А. Давыдов, Днепропетровский национальный университет им. Олесь Гончара, Днепропетровск, Украина.

АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ РІЗНИХ ТИПІВ ДВИГУННИХ УСТАНОВОК ДЛЯ БОРОТЬБИ ІЗ ЗАСМІЧЕННЯМ КОСМІЧНОГО ПРОСТОРУ

С.І. Кушніренко, В.Ю. Шевцов

У статті розглядається проблема утворення техногенного космічного сміття. Описуються методи боротьби та захисту від небезпечних космічних об'єктів. Запропоновано варіант вирішення проблеми утворення техногенного космічного сміття шляхом доопрацювання конструктивно-компонувальних схем космічних апаратів (КА). На етапі проектування до складу основних підсистем включається додаткова підсистема для запобігання утворенню космічного сміття. Розглянута можливість використання деяких типів двигунних установок (ДУ) для зняття КА з робочих орбіт, або переведення їх на орбіти-могилики.

Ключові слова: космічний апарат, космічне сміття, космічний об'єкт, орбіта захоронення, двигунна установка, відносний запас палива.

POSSIBILITY ANALYSIS OF USING DIFFERENT KINDS OF THE SPACECRAFT PROPULSION SYSTEMS FOR STRUGGLE AGAINST POLLUTION OF OUTER SPACE

S.I. Kushnirenko, V.Y. Shevtsov

The problem of creation man-made space debris is considered in this paper. Struggle and protection methods against dangerous space objects are described. The variant of solution the problem of creation man-made space debris by improvement of the design-arrangement schemes of the spacecrafts is proposed. On designing step the additional subsystem for prevention of the space debris formation is included. The possibility of using some types of propulsion systems for de-orbit or transfer spacecrafts on disposal orbits is considered.

Key words: spacecraft, space debris, space object, disposal orbit, propulsion system, comparative resource of propellant.

Кушніренко Сергей Иванович – аспирант кафедры Проектирования и конструкций Днепропетровского национального университета им. Олесь Гончара, Днепропетровск, Украина, e-mail: kushnirenko.s@yandex.ua.

Шевцов Василий Ефимович – канд. техн. наук, доцент кафедры Проектирования и конструкций Днепропетровского национального университета им. Олесь Гончара, Днепропетровск, Украина, e-mail: vas.shevtsov@ukr.net.