

## МЕЛКИЙ КОСМИЧЕСКИЙ МУСОР. АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ И СПОСОБЫ БОРЬБЫ

© Шевцов А. В., Макарова А. С.

Дніпропетровський національний університет

Розглядається еволюція дрібного техногенного космічного сміття на прикладі вибухів третіх ступенів ракети-носія «Циклон». Пропонується конструкція для його збирання та знищення.

Обсуждая проблему засоренности околоземного космического пространства техногенным космическим мусором на нынешнем этапе необходимо отметить следующий важный аспект: в современных каталогах содержится информация о спутниках и фрагментах космического мусора размером 10—30 см в диаметре, в то же время осколки меньшего размера не каталогизированы и современными средствами практически не обнаруживаются. Между тем такой мусор представляет серьезную угрозу для функционирования космических систем. Причиняемый вред можно разделить на две категории. В первую входят повреждения поверхности или подсистем. Во вторую категорию входит воздействие на ход операций. Зарегистрировано по крайней мере несколько случаев, когда малоразмерные объекты стали причиной повреждения космических систем (повреждение панелей остекления МТКК «Шаттл», повреждение остронаправленной антенны космического телескопа Хаббла и т. п.).

Некоторые из осуществляемых в США мероприятий направлены на повышение чувствительности вплоть до объектов размером 5 см на высотах менее 600 км. Некоторые исследования предусматривают обнаружение объектов размером более 1 см. Однако маловероятно, что в ближайшем будущем в каталоги удастся включить объекты размером менее 5 см. Поэтому применительно к менее крупным объектам специалисты по моделированию должны по-

прежнему использовать статистические измерения [1].

В 1995 г. совместно НАСА и Космическое командование ВВС США начали разрабатывать проект, направленный на создание системы (проект «Orion»), позволяющей обнаруживать и удалять с орбит высотой до 800 км мелкие фрагменты размером 1—10 см. Система предполагала наличие оптических телескопов обнаружения наземного и космического базирования и лазерные установки, которые, собственно, и оказывали активное воздействие на частицы мусора, удаляли их путем торможения. 17 октября 1997 г. был проведен эксперимент воздействия лазерной установкой MIRACL на спутник MSTI-3, который дал удовлетворительные результаты. По предварительным прогнозам проект «Orion» позволит убрать с орбит до 30 тысяч осколков за 2—3 года при использовании маломощных лазерных установок (5—25 кВт). По нашему мнению, данный проект имеет существенный недостаток из-за своей дороговизны (60—70 млн долл.) и узкой специализации программы, направленной на утилизацию только мелкого мусора [3].

В данной работе предлагается система, позволяющая собирать и впоследствии уничтожать космический мусор независимо от его размера, достаточно простая в исполнении, так как состоит из стандартных унифицированных элементов и не требует в своем составе подсистем обнаружения

Таблица 1. Параметры орбит третьих ступеней РН «Циклон-3» до и после разрушений

Международный номер	Дата разрушения	Параметры орбиты до разрушения					Параметры орбиты после разрушения				
		Период, мин	Наклонение, град	Апогей, км	Перигей, км	Дата получения данных	Период, мин	Наклонение, град	Апогей, км	Перигей, км	Дата получения данных
1978-100D	09.05.1988	нет данных				03.05.1988	120.3	82.6	1701	1687	26.10.98
1987-068B	15.02.1998	104.2	82.6	971.3	954.3	07.02.1998	104.2	82.5	970.7	956.2	18.02.98
1989-100B	18.04.1999	94.3	73.5	499.2	484.9	15.04.1999	94.3	73.5	500.4	485.4	29.04.99
1991-068G	09.10.1999	114.9	82.6	1493	1422	04.10.1999	114.9	82.6	1496.4	1423.1	11.10.99

Таблица 2. Характеристики орбит обломков 3-й ступени РН «Циклон-3»

Международный номер	КА	Дата запуска	Дата разрушения	Орбиты осколков (данные взяты из каталогов, в которых впервые были каталогизированы осколки)				Скорости разброса обломков при разрушении ступени, м/с	Дата получения данных	Кол-во каталогизированных осколков	Кол-во осколков, прекративших существование
				Наклонение, град	Период, мин	Апогей, км	Перигей, км				
(Данные на 25.01.2000)											
1978-100D	«Космос-1045»	26.10.78	09.05.88	81.7—82.7	90.9—123.4	333—2319	304—1699	нет данных	11.10.99	48	5
1987-068B	«Метеор-2...-16»	18.08.87	15.02.98	82.1—82.6	100.6—106.0	965.3—1138.5	598.1—973.6	15—250	18.02.98	78	55
1989-100B	«Космос-2053»	27.12.89	18.04.99	73.2—74.9	91.1—96.7	407.1—639	285.1—559.3	нет данных	29.04.99	25	23
1991-068G	«Космос-2157...-2162»	28.09.91	09.10.99	81.8—82.7	112—117	1474—1773	1157—1477	нет данных	26.10.98	33	0

частиц техногенного мусора.

В качестве исходных случаев засорения околоземного космического пространства были выбраны взрывы третьих ступеней ракеты носителя «Циклон-3». Далее представлены известные характеристики разрушения четырех ступеней с международными номерами 1978-100D, 1987-068B, 1989-100B, 1991-068G, произошедших за последнее время (см. также табл. 1, 2).

1978-100D была запущена 26 октября 1978 г. со спутниками «Космос-1045», «Радио-1, -2». Разрушение произошло 9 мая 1988 г. после 10 лет пребывания на орбите. Было каталогизировано 48 обломков, пять из них сошли с орбиты. Обломки, вошедшие в каталоги, были разбросаны на высотах от 300 до 2300 км.

1987-068B была запущена 18 августа 1987 г. и вывела спутник «Метеор-2—16». Разрушение третьей ступени произошло на 11 году ее существования на орбите — 15 февраля 1998 г. Это самое масштабное разрушение ступеней. В результате образовалось более 80 фрагментов, для которых были определены орбитальные элементы. Официально было каталогизировано 78 обломков, 55 из них вскоре прекратили существование, и на орбите осталось 23 объекта. Обломки были разбросаны на орбиты высотой от 300 до 1200 км. Скорости выбрасывания обломков составляла от 15 до 250 м/с и более. Каталогизированы осколки с высотами орбит 500—1200 км.

1989-100B была запущена 27 декабря 1989 г. и вывела спутник «Космос-2053». Разрушение произошло 18 апреля 1999 г. над южной частью Тихого океана более чем на 60 обнаруживаемых объектов. Было каталогизировано 25 объектов, 23 из них вскоре сошли с орбиты. Максимальное отклонение высоты (в данном случае апогея) было 200 км. Каталогизированные обломки представля-

ют собой небольшие объекты с радиолокационным поперечным сечением менее 0.25 м<sup>2</sup>. Разброс высот обломков составил около 300—600 км.

1991-068G была запущена 28 сентября 1991 г. со спутниками «Космос-2157—2162». Разрушение произошло 9 октября 1999 г. более чем на 30 наблюдаемых объектов. Орбита ступени на момент разрушения была 1410—1485 км с наклоном 82.6°. Обломки разлетелись в радиусе более чем на 600 км, приблизительно на 300 км выше и ниже высоты разрушения. Основная часть обломков сосредоточилась на высоте 1414 км (это высота действующей новой коммерческой системы связи Globalstar). Персонал американской космической сети наблюдений обнаружил возмущения ступени Циклона за пять дней до разрушения. На февраль 2000 г. было каталогизировано 33 обломка и все они находятся на орбитах от 1150 до 1770 км.

Общим среди разрушенных третьих ступеней РН «Циклон-3» является их возраст. Каждая ступень пробыла на орбите приблизительно 10 лет до момента разрушения. По информации на февраль 2000 г. на орбите находится 105 неразрушенных третьих ступеней. Из них 78 ступеней остаются целыми более 10 лет. Все ступени содержат остатки топлива.

В качестве основного случая рассматривался взрыв ступени 1987-068B, так как в его результате образовалось наибольшее количество осколков, были известны их скорости разброса и корридор орбит (от 15 до 250 м/с и от 500 до 1200 км). Была создана математическая модель траекторий осколков, времени их возвращения в исходную точку взрыва. Модель была просчитана при скоростях разлета фрагментов ступени от 10 до 400 м/с и дала хорошую сходимость с каталогизированными данными. Целью моделирования была возможность оценить период сбора облака осколков с макси-

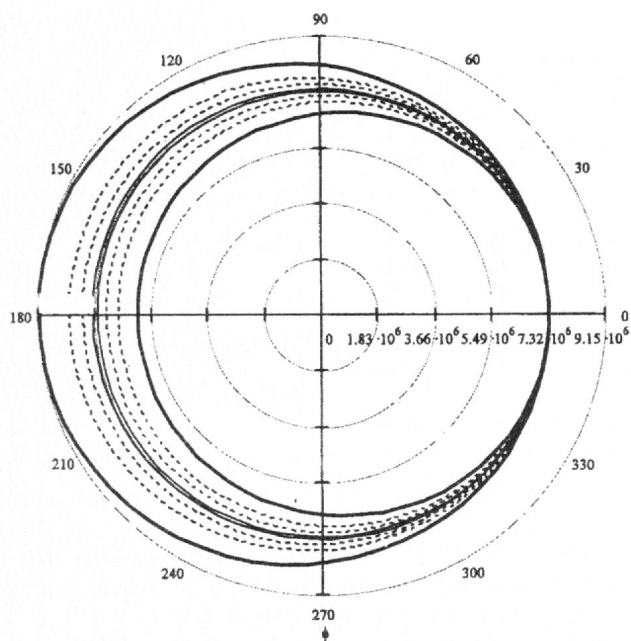


Рис. 1. Зависимость траекторий фрагментов третьей ступени РН «Циклон-3» после взрыва от скорости их разлета

Таблица 3. Время возврата осколков в точку взрыва

Скорости разлета осколков, м/с	Время возврата в точку взрыва, с		
	1 цикл	2 цикл	3 цикл
±10	6210—6261	12420—18780	24840—25040
±30	6185—6286	12370—18860	24740—25150
±50	6160—6312	12320—18940	24640—25250
±70	6136—6338	12270—19010	24540—25350
±90	6111—6364	12220—19090	24440—25460
±110	6087—6391	12170—19170	24350—25560
±130	6063—6418	12130—19250	24250—25670
±150	6039—6445	12080—19330	24160—25780
±170	6015—6472	12030—19420	24060—25890
±190	5992—6499	11980—19500	23970—26000
±210	5969—6527	11940—19580	23870—26110
±230	5946—6555	11890—19660	23780—26220
±250	5923—6583	11850—19750	23690—26330

мальной плотностью в точке взрыва. К сожалению, необходимо констатировать, что с течением времени облако осколков имеет тенденцию лишь к расширению. С другой стороны, это хорошо согласуется с практическими результатами наблюдений и теоретическими выкладками, проведенными космическими агентствами по итогам других взрывов космических аппаратов. Результаты приведены на рис. 1 и в табл. 3.

Таким образом, для очистки пространства от облака осколков целесообразной представляется конструкция, имеющая следующие характеристики:

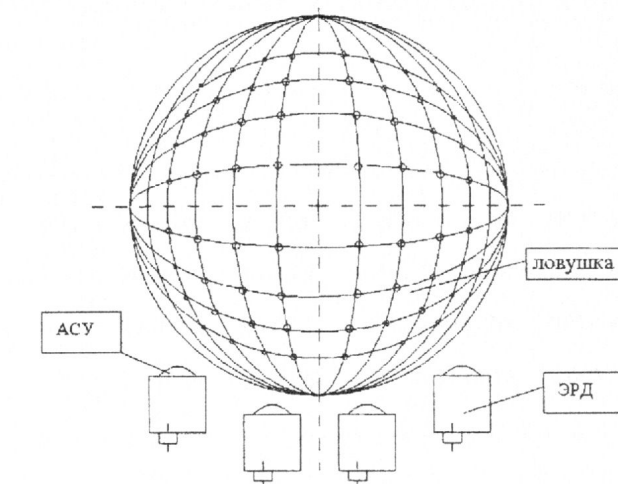


Рис. 2. Конструкция ловушки до выхода ее на рабочий режим (компоновка под обтекателем)

1. Длительный срок собственного существования;
2. Возможность сбора осколков различных размеров;
3. Действие практически в автономном режиме, без дорогостоящей и неэффективной при данных условиях работы системы управления с Земли.

Мы предлагаем конструкцию пенообразующей конструкции-ловушки, состоящей из следующих узлов (рис. 2).

1. Шар-ловушка, заполненный твердым пенообразным веществом, диаметром 20—100 м (в зависимости от целей и условий задачи). Вещество-заполнитель должно иметь как можно меньшую упругость при ударе. Частицы мусора задерживаются ловушкой внутри собственного тела или же их скорость гасится до пределов, при которых эти частицы будут либо уловлены на следующем цикле своего существования, либо выпадут в атмосферу Земли.

2. Четыре электрореактивных двигателя (ЭРД) для коррекции движения конструкции и для перевода конструкции на другую орбиту засорения (можно обойтись и одним ЭРД, но в таком случае повышается риск выхода конструкции из строя в связи с возможным повреждением ЭРД осколками мусора). ЭРД выбирается также из условий и целей поставленной задачи. В качестве примера был выбран электростатический ионный двигатель германского производства RIT-10, разработанный DASA (рис. VIII, вклейка). Этот 10-сантиметровый двигатель, потребляющий для работы 585 Вт, имеет в полном снаряжении массу 14 кг. Использование ЭРД в качестве исполнительных органов обусловлено их малым весом, размером и длительным сроком работы [2].



3. Автономная дублированная система управления.

4. Источники питания для ЭРД. В зависимости от конкретной конструкции могут использоваться как электрохимические батареи, так и солнечные, которые можно разместить на поверхности шара-ловушки.

Конструкция в рабочем состоянии помещается в предполагаемую точку взрыва (так как там имеется наибольшая вероятность встречи фрагментов с ловушкой) и, совершая циклические движения, обрабатывает данную точку пространства. После завершения очистки оценивается состояние ловушки (повреждение ЭРД, источников питания и т. д.) и принимается решение либо о переводе на новое место работы, либо о уходе конструкции в атмосферу Земли (где она разрывается на несколько частей и сгорает) или на орбиты-могильники.

В полностью снаряженном состоянии конструк-

ция будет иметь вес от 150 до 200—300 кг, и может выводиться на рабочую орбиту носителями типа РН «Днепр».

1. Технический доклад о космическом мусоре. — Нью-Йорк: ООН, 1999.
2. Anderson J., Blondin J. Advanced propulsion concepts. — Pasadena: California Institute of Technology, 1999.
3. Ракетно-космическая техника.—1997.—№ 52.—С. 14; № 3.—С. 15.

#### SMALL SPACE DEBRIS. ANALYSES OF DEVELOPMENT AND METHODS OF RENDERING SAFE

A. V. Shevtsov, A. S. Makarova

The evolution of small technogenical space debris is considered using as an example the explosions of the thirds launch vehicle «Cyclon» stages. It is proposed the construction for gathering and destruction of space debris.

УДК 620.9

## ОПРЕСНИТЕЛЬ

© С. А. Мороз, Г. К. Волков, Л. П. Полякова

Науково-дослідний інститут енергетики Дніпропетровського національного університету

Застосування опріснювачів є актуальним у регіонах з непридатними до використання водними ресурсами чи їхньою відсутністю. Запропоновані опріснювачі використовують екологічно чисту енергію Сонця для знесолювання мінералізованих вод і морської води. Раціонально використовувати такі опріснювачі в умовах космосу.

Использование специальных устройств для получения питьевой воды необходимо во многих экваториальных и южных странах, в пустынных регионах, в странах с дефицитом пресной воды и значительными запасами соленых вод, а также в условиях космических полетов. Обессоливание минерализованных вод, опреснение морской воды или регенерация жидкости в космических условиях возможны с применением опреснителей при использовании в качестве энергоносителя для очистки жидкости экологически чистую энергию Солнца. В ряде стран используются промышленные гелиоустановки для обессоливания загрязненных минерализованных вод.

В данном случае дано описание опреснителя с небольшой производительностью, устройство которого показано на рис. 1.

Опреснитель является герметичным устройством. Основными элементами опреснителя являются металлический корпус 1. Он заключен в теплоизоля-

тор 2, представляющий собой поливинилхлоридные плиты и установлен на понтоне 3 водоема. Предусмотрена система подвода воды 4. Верхняя прозрачная крышка 5 с двойным стеклом установлена под углом 30°. Испаряющее устройство 6 представляет собой мелкоячеистую черную сетку, которая одновременно является фильтром. Емкость 7 и соединительные элементы 8 служат для сбора конденсата и пара. Устройство для откачивания воздуха 9 обеспечивает уровень жидкости над испаряющим устройством и желоб 10 для слива жидкости.

Установка ориентирована на Солнце.

Перед запуском опреснителя в корпусе с помощью откачивающего устройства создается разрежение. Жидкость поднимается над уровнем испаряющего устройства на небольшую высоту, наиболее эффективную для испарения. Солнечные лучи, проходя через верхнюю наклонную прозрачную крышку, попадают на поверхность жидкости и нагревают ее. Происходит образование мелких пу-