
ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ КОСМОСУ

УДК 629.21

М. Г. Головки, В. А. Безуглий, С. Г. Бондаренко

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ТЕХНОГЕННОГО ЗАСОРЕНИЯ ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА И СПОСОБЫ ЕГО УМЕНЬШЕНИЯ

Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара

В работе рассмотрена проблема техногенного загрязнения околоземного космического пространства, которая стала актуальной в последние десятилетия. Проанализировано экологическое состояние космической окружающей среды, приведено некоторые концептуальные мероприятия для уменьшения загрязнения космоса.

Ключевые слова: техногенное засорение, околоземное космическое пространство, экологическое состояние.

М. Г. Головки, В. А. Безуглий, С. Г. Бондаренко

Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара

АНАЛІЗ СТАНУ ТЕХНОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ НАВКОЛОЗЕМНОГО КОСМІЧНОГО ПРОСТОРУ ТА СПОСОБИ ЙОГО ЗМЕНШЕННЯ

В роботі розглянута проблема техногенного засмічення навколоземного простору, яка стала актуальною в останні десятиріччя. Проаналізовано екологічний стан космічного навколишнього середовища, приведено деякі концептуальні заходи для зменшення засмічення космосу.

Ключові слова: техногенне засмічення, навколоземний космічний простір, екологічний стан.

M. G. Golovko, V. A. Bezugly, S. G. Bondarenko

O. Gonchar Dniepropetrovsk National University

ANALYSIS OF ANTHROPOGENIC POLLUTION STATE OF CIRCUMTERRESTRIAL SPACE AND WAYS TO DECREASE IT

In the work was considering problem of technogenic pollution of space what become topical last ten years. Was analyzed ecological situation of environment, adduced several conceptual measures by diminution of space pollution.

Keywords: anthropogenic pollution, circumterrestrial space, ecological situation.

Космический мусор (КМ) – это все антропогенные объекты, которые находятся на околоземной орбите, включая фрагменты или части тех объектов, которые прекратили свое активное существование.

Проблема засорения околоземного космического пространства «космическим мусором», как чисто теоретическая, возникла по существу сразу после запусков первых искусственных спутников Земли в конце пятидесятых годов. Официальный статус на международном уровне она получила 10 декабря 1993 года после доклада Генерального секретаря ООН под названием «Воздействие космической деятельности на окружающую среду», где особо отмечено, что проблема имеет международный, глобальный характер. Нет засорения национального околоземного космического пространства, есть засорение космического пространства Земли,

одинаково негативно влияющее на все страны, прямо или косвенно участвующие в его освоении ([http:// rnd. cnews.ru/](http://rnd.cnews.ru/); <http:// www.anafor.ru/>).

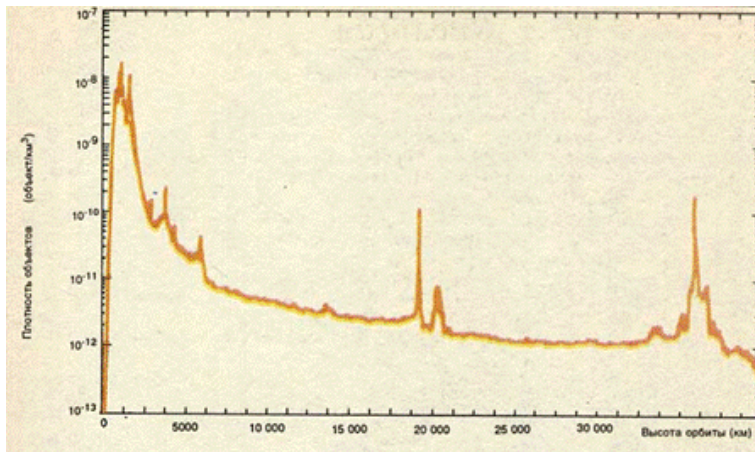
Необходимость мер по уменьшению интенсивности техногенного засорения космоса становится понятной при рассмотрении возможных сценариев освоения космоса в будущем. Так, существующие оценки показывают, что так называемый «каскадный эффект», который в среднесрочной перспективе может возникнуть от взаимного столкновения объектов и частиц КМ, при экстраполяции существующих условий засорения низких околоземных орбит (НОО), даже с учетом мер по снижению в будущем числа орбитальных взрывов (42 % всего КМ) и других мероприятий по уменьшению техногенного засорения, может в долгосрочной перспективе привести к катастрофическому росту количества объектов орбитального мусора на НОО и, как следствие, к практической невозможности дальнейшего освоения космоса. Предполагается, что после 2055 года процесс саморазмножения остатков космической деятельности человечества станет серьезной проблемой ([http:// rnd. cnews.ru/](http://rnd.cnews.ru/); <http:// www.anafor.ru/>).



Околоземное космическое пространство будет заполнено сплошным слоем КМ, если не предпринимать активных действий по его удалению (<http:// www.anafor.ru/>)

В настоящее время по разным оценкам в районе НОО вплоть до высот около 2000 км находится до 5000 тонн техногенных объектов. На основе статистических оценок делаются выводы, что общее число объектов подобного рода (поперечником более 1 см) достаточно неопределенно и может достигать 60 000 – 100 000. Из них только порядка 10 % (около 15000 объектов) обнаруживаются, отслеживаются и каталогизируются наземными радиолокационными и оптическими средствами, причём, только около 6 % отслеживаемых объектов — действующие. Около 22 % объектов прекратили функционирование, 17 % представляют собой отработанные верхние ступени и разгонные блоки ракет-носителей (РН), и около 55 % — отходы, технологические элементы, сопутствующие запускам, обломки взрывов и фрагментации. Большинство этих объектов находится на орбитах с высоким наклоном, плоскости которых пересекаются, поэтому средняя относительная скорость их взаимного пролета составляет около 10 км/с. В следствие огромного запаса кинетической энергии столкновение любого из этих объектов с действующим космическим аппаратом (КА) может повредить его или даже вывести из строя. Эффективных мер защиты от объектов КМ размером более 1 см в поперечнике на сегодня практически нет ([http:// rnd. cnews.ru/](http://rnd.cnews.ru/); <http:// www.anafor.ru/>).

Степень влияния загрязнённости космического пространства на функционирование КА определяется четырьмя факторами: временем нахождения на орбите, районами по предположению нахождения объектов, высотой орбиты, наклоном плоскости орбиты. Для представления об объектах загрязнения космического пространства разрабатывают математические модели его засорённости. Они описывают распределение загрязняющих объектов в пространстве, траектории их движения, физические характеристики. Разрабатываемые модели бывают двух видов: краткосрочные (период до 10 лет) и долгосрочные (период до 100 лет) ([http:// rnd. cnews.ru/](http://rnd.cnews.ru/); <http:// www.anafor.ru/>).



Пространственная плотность распределения космических объектов (Рыхлова, 1993)

Наиболее широко используемыми моделями являются:

- ORDEM-96, -2000, -2008 – инженерные модели, используемые NASA для оценки вероятности столкновения КА с КМ размерами от 10 мкм до 10 см, а также для определения концентрации КМ на различных орбитах и ее прогноз на будущее (Liou et al., 2002).

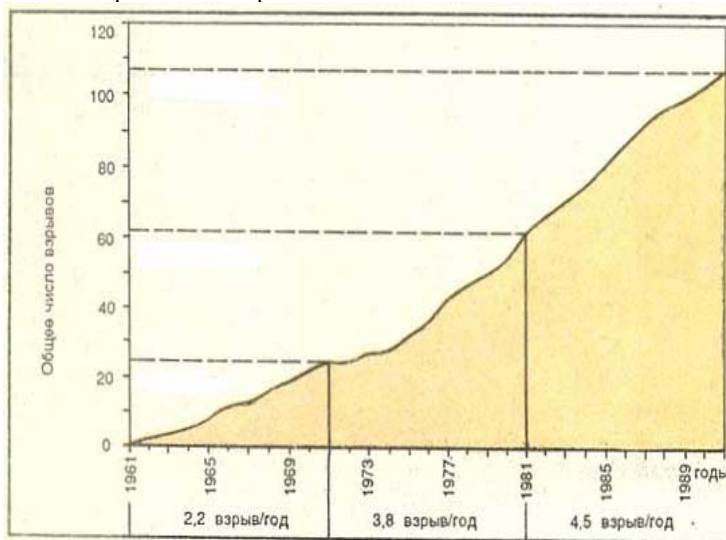
- MASTER-99, -2001, -2008 – инженерные модели, используемые ESA для оценки столкновения КА с КМ и метеороидами (Sdunnus, 2001).

- EVOLVE – модель эволюции движения КМ, используемая NASA (Krisko, 2000, 2001).

- LEGEND – модель эволюции движения КМ, в том числе и на геостационарной орбите (ГСО), используемая NASA (Liou, 2004).

- DELTA – модель эволюции движения КМ, используемая ESA (Robotic Geostationary orbit Restorer, 2003).

Цель настоящей работы заключается в проведении анализа существующего состояния техногенного загрязнения околоземного космического пространства (ОКП) и концептуальное обоснование применения ракетно-космических аппаратов и некоторых технических мероприятий для борьбы с образованием, а также сбором и утилизацией КМ на различных орбитах.



Рост числа взрывов КА (Рыхлова, 1993)

Фрагменты КМ, образовавшиеся после взрывов, могут стать одним из главных источников загрязнения. Фрагменты КМ, образовавшиеся в результате столкновений, могут порождать следующие загрязнения, что приведет к росту загрязненности в геометрической прогрессии.

Эффективных практических мер по уничтожению КМ на орбитах более 600 км (где не сказывается очищающий эффект от торможения об атмосферу) на настоящем уровне технического развития человечества не существует. Вместе с тем актуальность задачи обеспечения безопасности космических полетов в условиях техногенного загрязнения ОКП и снижения опасности для объектов на Земле при неконтролируемом вхождении космических объектов в плотные слои атмосферы и их падении на Землю стремительно растет. Поэтому в обеспечение решения этой проблемы международное сотрудничество по проблематике КМ развивается по следующим приоритетным направлениям ([http:// md. cnews.ru/](http://md.cnews.ru/); [http:// www.anafor.ru/](http://www.anafor.ru/)):

– Экологический мониторинг ОКП, включая область ГСО: наблюдение за КМ и ведение каталога объектов КМ.

– Математическое моделирование КМ и создание международных информационных систем для прогноза засоренности ОКП и ее опасности для космических полетов, а также информационного сопровождения событий опасного сближения космических объектов (КО) и их неконтролируемого входа в плотные слои атмосферы.

– Разработка способов и средств защиты КА от воздействия высокоскоростных частиц КМ.

– Разработка и внедрение мероприятий, направленных на снижение засоренности ОКП.

Эти мероприятия можно определить в два глобальных направления:

А. Уменьшение количества вновь образующегося КМ.

Предотвращение появления нового КМ заключается в проведении следующих мероприятий (UNCOPUOS, 1999; NASA, 2007):

1) Пассивации компонентов ракетного топлива и газов наддува, оставшихся на последних ступенях РН, разгонных блоках (РБ) и КА, которые завершили своё функционирование. Она заключается в стравливании этих компонентов топлива и газов наддува за борт; консервации химических источников тока; деактивации пиротехнических устройств. Данное мероприятие позволяет свести к минимуму вероятность взрыва, который может привести к образованию большого количества мелкого КМ.

2) Ограничения количества операционных элементов, (заглушки, пиротехнические устройства и т.д.) отделяемых от последних ступеней РН, РБ и КА в процессе их штатной работы.

3) Ограничения срока баллистического существования последних ступеней РН, РБ и КА 25 годами. Данное мероприятие осуществляется путём выбора орбиты или размещения на борту средств увода с целевой орбиты.

4) Увода последних ступеней РН, РБ и КА в плотные слои атмосферы Земли либо на орбиты захоронения. Для низкоорбитальных объектов орбита захоронения расположена выше 2000 км. Для геостационарных объектов – выше ГСО на 200 км.

5) Исключения столкновений крупногабаритных объектов между собой. Реализуется либо путём выбора целевой орбиты либо путём маневрирования средствами функционирующих объектов.

6) Использование космического ремонтного модуля (КРМ) для захвата и проведения ремонтных работ на внепланово вышедших из эксплуатации КА.

Все вышеперечисленные мероприятия необходимо планировать ещё на этапе проектирования ракетно-космической техники. Космические агентства США, Европы и России уже начали внедрять указанные мероприятия не только на этапе проектирования, но и на законодательном уровне. К сожалению, пока не спешат с этим другие страны мирового космического клуба.

Б. Удаление уже существующего КМ.

Существуют следующие предложения по удалению существующего КМ:

1) Использование космического мусоросборщика (КМС) для захвата КМ и перевода его на орбиту захоронения либо его управляемого сведения в плотные слои атмосферы Земли. Для маневрирования могут быть использованы различные средства:

- химические двигатели (Robotic Geostationary orbit Restorer, 2003);
- «солнечный парус»;
- аэродинамическая система;
- электродинамическая система (Dardini, 2006).

2) Использование многоразовых транспортных космических кораблей (МТКК) типа «Спейс Шаттл». Позволяет эффективно осуществить захват КМ, в том числе и вышедший досрочно с эксплуатации КА, производить мелкий его ремонт и даже доставку ценного КА на Землю. Недостатком является высокая стоимость и ограничения по орбите. Кроме того, после 2010 года эксплуатация МТКК «Спейс Шаттл» не предполагается.

3) Использование тонкостенных конструкций, при нештатном столкновении с которыми происходит разрушение КМ с последующим сгоранием части его фрагментов в атмосфере Земли (Патент 2092409 РФ, 1997). Однако, часть фрагментов разрушения останется на орбите, что приведёт к увеличению количества мелкого КМ и является не совсем приемлемо.

4) Использование лазера (Патент 2092408 РФ, 1997), с помощью которого предлагается сводить крупный КМ в плотные слои атмосферы за счёт создания реактивной силы при сублимации вещества КМ под воздействием лазерного излучения. Возможно, использование лазера как наземного базирования, так и космического. На сегодняшний день существует экспериментальный образец наземного лазера.

5) Использование солнечного концентратора (Патент 5120008 США, 1992). С его помощью предлагается сводить крупный КМ в плотные слои атмосферы за счёт создания реактивной силы при сублимации вещества КМ под воздействием концентрированного солнечного излучения.

Также проблема состоит в возвращении в атмосферу Земли космических объектов. За последние 40 лет их отмечено более 16000. В течение последних 5-ти лет примерно раз в неделю происходит попадание в атмосферу объекта с площадью поперечного сечения около 1 м². Вхождение того или иного объекта в атмосферу связано не только с опасностью механического удара, но и с возможностью химического либо радиологического заражения окружающей среды.



Объект КМ, упавший на Землю (Англия) (<http://news.siteua.org/>)

Дальнейшие наши исследования будут направлены на разработку конструктивных схем РН, РБ и КА, предусматривающих не допущения образования КМ, а также аппаратов типа КРМ и КМС для сбора, ремонта или утилизации КМ.

В заключении следует отметить, что любые работы в этом направлении являются весьма актуальными даже с той точки зрения, что освоение космоса даёт огромную пользу и значительный прогресс человечеству, но дальнейшая эксплуатация нашего космоса существующими методами, без принятия указанных выше мероприятий, не позволит его дальнейшее безопасное освоение уже после 2055 года.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- <http://rnd.cnews.ru/>
Liou J.- C., et al. The New NASA Orbital Debris Engineering Model ORDEM2000 // NASA TP - 2002-210780, May 2002.
Sdunnus, H., J. Bendish, H. Klinkrad, The ESA MASTER 2001 Space Debris and Meteoroid Reference Model // Proceedings of the 3rd European Conference on Space Debris, ESA SP – 473, Darmstadt, Germany, October 2001.
Krisko, P. H et al. EVOLVE 4.0 User's Guide and Handbook // LMSMSS-33020, 2000.
Krisko, P. H., N. L. Johnson, J. N. Opiela EVOLVE 4.0 Orbital Debris Mitigation Studies Adv. // Space Research, 28(9) pp. 1385 – 1390, 2001.
Liou J.- C., D.T. Hall, P.H. Krisko, and J.N. Opiela, LEGEND – A Three Dimensional Leo-to-GEO Debris Evolutionary Model Adv. // Space Research, 34(5), pp. 981-986, 2004.
Robotic Geostationary orbit Restorer (ROGER) Executive Summary ESA/ESTEC Contract No. 15678/01/NL/WK, 2003.
Dardini C, T. Hanada, P.H. Krisko, Benefits and Risks of Using Electrodynamic Tethers to De-orbit Spacecraft, 2006.
Патент 2092409 РФ, МКИ В64G9/00, Способ очистки околоземного космического пространства от космических объектов и мелких частиц путём их разрушения и устройство для его осуществления, Ю.В. Корягин, В.Н. Долгих, В.И. Савин, В.П. Сенкевич, Э.Г. Семенов, №93052084/11, заяв. 16.11.1993, опубл. 10.10.1997.
Патент 2092408 РФ, МКИ В64G9/00, Космический аппарат для очистки космического пространства от мусора, А.А. Масленников, В.В. Синявский, №93050919/11, заяв. 09.11.1993, опубл. 10.10.1997.
Патент 5120008 США, МКИ В64G 1/10, В64G 1/44, F24J 2/02, F24J 2/38, Orbital Debris Processor and Method Therefor, K. Ramohall, №387583, filed Jul. 28, 1989, publ. Jim. 9, 1992.
UNCOPUOS Scientific and Technical Subcommittee // Technical Report on Space Debris, A/AC. 105/720, May 1999.
NASA Technical Standart // NASA STD-8719.14, 2007.
<http://Lenta.ru/>
<http://news.siteua.org/>
Рыхлова Л. В. Проблемы космического мусора // Земля и Вселенная. – 1993. – № 6.
<http://www.anafor.ru/>

Надійшла до редколегії 12.11.10