
ECOLOGY AND SPACE



N. M. Dron¹

Dr. Sci. (Tech.), Professor

P. G. Horolsky²

Cand. Sci. (Tech.), Sen. Res. Sci.

L. G. Dubovik¹✉

UDK 629.78

¹*Oles Honchar Dnipropetrovsk National University,
Gagarin ave., 72, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010*

²*«Yuzhnoye» State Design Office,
Krivorozhskay str., 3, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49008*

EVALUATION OF TECHNICAL MEANS CAPABILITIES FOR MINIMISATION OF TECHNOGENIC POLLUTION OF A NEAR SPACE

Abstract. The conducted researches are directed on the solution of one of the most important problems of the space use – a problem connected with existence and inadmissibility of growth the quantity of a technogenic origin space debris on low near-earth and geostationary orbits because its further increase will overlap to mankind an exit in space and will terminate space activity.

In the basis of a technique of researches the analysis of an existing ecological condition of the surrounding space environment on which base determined the major factors of pollution of the space and considered ways of struggle against space debris on near-earth orbits is put.

It is established that the major factors of pollution of the near-earth space are spent stages of launch vehicles and accelerating units, the space crafts which have terminated its existence, fragments of destroyed artificial space objects, operational elements etc. Space debris basically is concentrated on low orbits and around a geostationary orbit which on the basis of the analysis of statistical data on space crafts starts are in most common use. Here groupings of space crafts of the various particular mission, including space crafts of communication, relay, TV, the early prevention of a rocket attack are concentrated.

It is shown that the main ways of struggle against space debris are prevention of occurrence new and removal of the already existing debris. Notable decrease in level of the pollution can achieve at cumulative use of such measures, as an exception of explosions of the space objects, limitation of quantity of the started space crafts, reduction of number of the accompanying fragments injected into orbits at starts.

Methods and means of withdrawal from working orbits of space crafts upon termination of term of their active existence and known ways and systems of active removal of already existing fragments of the space debris, such as: application of an ionic bunch, the space ship-towing vehicle, the polyurethane foam, the pulsing laser, harpoon system, electrodynamic cord system are considered.

Scientific novelty of the presented results consists in the description of conceptual actions for reduction of pollution of the space.

The activities executed in the given direction, have huge practical value as the outer space exploration gives huge advantage and significant progress to mankind, but the further operation at

✉ Tel.: +38050-789-93-65. E-mail: dubovik_l.g@mail.ru

DOI: 10.15421/031526

near-earth space by existing methods without acceptance of the measures indicated in the article, its further safe development already will not allow in the near future.

Keywords: space debris, a near-earth space, reduction of technogenic pollution.

УДК 629.78

М. М. Дронь¹

д-р техн. наук, проф.

П. Г. Хорольський²

канд. техн. наук, стар. наук. співр.

Л. Г. Дубовик¹

¹Дніпропетровський національний університет ім. Олесь Гончара
пр. Гагаріна, 72, м. Дніпропетровськ, Україна, 49010

²Державне підприємство «Конструкторське бюро «Південне»
вул. Криворізька, 3, м. Дніпропетровськ, Україна, 349008,
тел.: +38050-789-93-65, e-mail: dubovik_l.g@mail.ru

ОЦІНКА МОЖЛИВОСТЕЙ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ МІНІМІЗАЦІЇ ТЕХНОГЕННОГО ЗАСМІЧЕННЯ НАВКОЛОЗЕМНОГО КОСМІЧНОГО ПРОСТОРУ

Анотація. Розглянута актуальна проблема сучасного етапу освоєння космосу – засмічення навколосезного космічного простору космічними сміттями. Викладено дані відносно екологічного стану навколишнього космічного середовища та проаналізовано можливі способи зменшення його техногенного засмічення.

Ключові слова: космічне сміття, навколосезний космічний простір, зменшення техногенного засмічення.

УДК 629.78

Н. М. Дронь¹

д-р техн. наук, проф.

П. Г. Хорольський²

канд. техн. наук, стар. науч. сотр.

Л. Г. Дубовик¹

¹Днепропетровский национальный университет им. Олесь Гончара,
пр. Гагарина, 72, г. Днепропетровск, Украина, 49010

²Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное»
ул. Криворожская, 3, г. Днепропетровск, Украина, 49008,
тел.: +38050-78-99-365, e-mail: dubovik_l.g@mail.ru

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ ТЕХНОГЕННОГО ЗАСОРЕНИЯ ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

Аннотация. Рассмотрена актуальная проблема современного этапа освоения космоса – засорение околоземного космического пространства космическим мусором. Изложены данные относительно экологического состояния окружающей космической среды и проанализированы возможные способы уменьшения ее техногенного засорения.

Ключевые слова: космический мусор, околоземное космическое пространство, уменьшение техногенного засорения.

ВВЕДЕНИЕ

С момента активного изучения и исследования околоземного космического пространства следствием распространения практической деятельности человека в космосе является неизбежное техногенное воздействие на окружающую космическую среду. Это породило проблему экологии космоса, связанную с загрязнением его объектами так называемого космического мусора (КМ).

КМ – это техногенные объекты, которые находятся на околоземной орбите или возвращаются в атмосферу, включая фрагменты или части тех объектов, которые

закончили свое активное функционирование. По данным National Aeronautics and Space Administration (NASA) общее число этих фрагментов может достигать до 100 тысяч (Orbital Debris Quarterly News, 2013). При этом если космический мусор, движущийся на высотах ниже 600 км, в течение нескольких лет постепенно спускается в атмосферу и сгорает в ней, то КМ, находящемуся на высотах 800 км, для этого требуются десятилетия, а на высотах от 1000 км и выше – сотни лет.

Скопившийся на околоземных орбитах мусор превратился в фактор повышенной опасности и, нередко, угрожает орбитальным полетам. Особая опасность космического мусора связана с тем, что он перемещается в пространстве с огромной относительной скоростью (15...16 км/с). Поэтому даже частица, линейные размеры которой составляют лишь один сантиметр, столкнувшись с космическим аппаратом (КА), может вызвать его серьезные повреждения. Постепенное накопление КМ в околоземном пространстве привело к тому, что в настоящее время вероятность столкновения КА на высоте 800–1000 км с осколками и мелкими частицами искусственного происхождения выше, чем с естественными телами и частицами тех же размеров.

Из-за существующей тенденции постоянного роста числа космических полетов уже сегодня имеет место «перенаселенность» некоторых орбит, а емкость так называемых «удобных» орбит практически исчерпана. При этом увеличивается не только число объектов, выводимых на разные орбиты, но и концентрация мусора, который образуется в космическом пространстве.

Проблема засорения околоземного космического пространства носит глобальный характер. Поэтому для обеспечения необходимых условий дальнейшего развития космонавтики и расширения круга научных и прикладных задач, решаемых с помощью космической техники, международным сообществом разрабатываются меры по снижению засоренности околоземных орбит космическим мусором.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Изучение статистических данных по запускам космических аппаратов разной массы на различные типы орбит показало, что в период с 1996 по 2012 гг. в космос было выведено более 1800 космических аппаратов. Наибольшее количество КА различного целевого назначения (приблизительно 60 % от общего количества) было выведено на низкие околоземные орбиты (НОО). Около 26 % КА связи, ретрансляции, телевидения, раннего предупреждения о ракетном нападении и др. были запущены на геостационарную орбиту (ГСО) и только 256 КА (~14 %) были выведены на другие орбиты (рис. 1).

Таким образом, наиболее проблемными регионами околоземного пространства, с точки зрения космического мусора, являются низкие околоземные орбиты высотой до 2000 км и геостационарные орбиты высотой 35786±200 км. Наибольшую опасность на этих орбитах представляют крупные космические объекты (КО), которые имеют двигательную установку и остатки топлива в баках. К таким объектам, в первую очередь, относятся КА, прекратившие свое активное функционирование, и верхние ступени ракет-носителей (РН).

С начала космической эры средствами контроля космического пространства было зарегистрировано и каталогизировано около 39000 объектов размером более 10 см. Более 50 % из них под действием сил сопротивления атмосферы уже достигли ее плотных слоев, разрушились и сгорели, остальные же все еще движутся по околоземным орбитам.

По данным на 02 июля 2014 г. (Orbital Debris Quarterly News, 2014) в космосе насчитывается 16900 таких техногенных объектов, что почти на 300 объектов больше, чем было зарегистрировано в прошлом году (Orbital Debris Quarterly News, 2013). При этом 13088 из них (77,4 % от общего количества) – части РН и различного рода обломки, а 3812 (22,6 %) – действующие и «мертвые» космические аппараты.

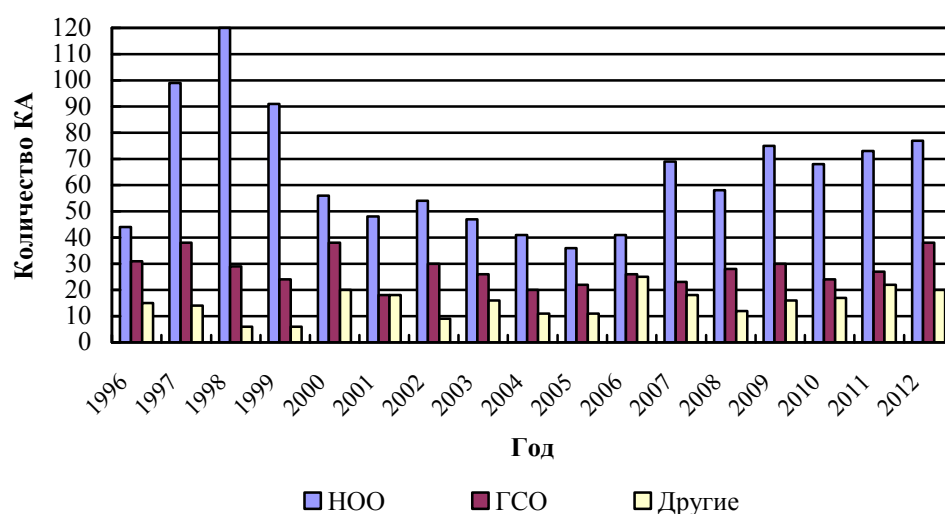


Рис. 1. Количество выведенных КА в период с 1996 по 2012 гг.

Наибольшее количество космического мусора в околоземном пространстве оставили Россия (включая страны СНГ), США и Китай. России и странам СНГ принадлежат 1445 КА и 4798 ступеней РН и других элементов космической техники, США – 5008 объектов (1228 КА и 3780 ступеней ракет и обломков), Китаю – 3716 объектов (158 КА и 3558 обломков космической техники и ступеней ракет-носителей). Доля Франции составляет 506 объектов, Японии – 213, Индии – 175. Европейскому космическому агентству принадлежат 93, другим странам – 809 объектов искусственного происхождения (рис. 2).

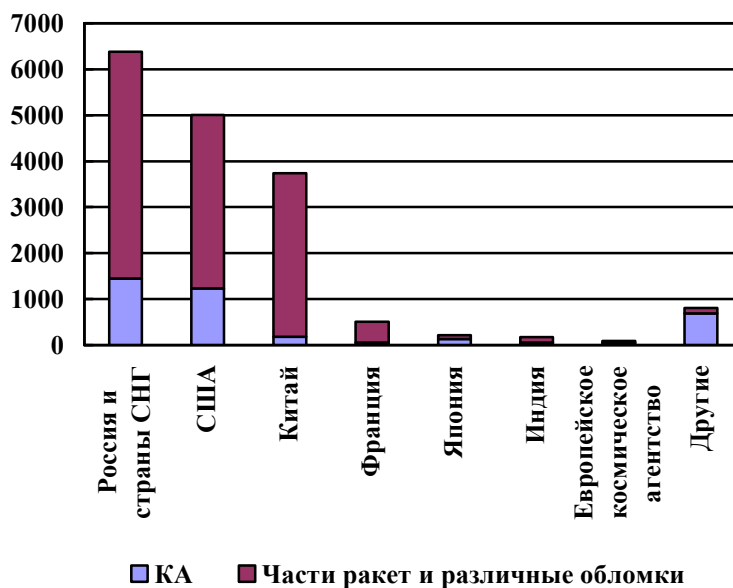


Рис. 2. Количество космических объектов в космосе на 02.07.2014 г.

Дальнейшее накопление техногенных объектов на орбитах очень опасно тем, что после достижения некоторого критического уровня может начаться

лавинообразный рост их числа вследствие фрагментации при взаимных столкновениях. Фрагменты мусора, образовавшиеся после взрывов, способны порождать следующие столкновения, что по существующим оценкам приведет к росту загрязненности в геометрической прогрессии (Kessler, 1978). Это делает через какое-то время невозможными не только пилотируемые полеты, но и космические программы с использованием автоматических аппаратов, что практически приведет к прекращению исследований по освоению космоса.

Сохранить околоземное космическое пространство для будущих поколений и обеспечить безаварийный вывод и функционирование космических аппаратов на целевых орбитах можно только принятием эффективных мер по уменьшению уровня его засоренности. Поэтому целью данной работы является рассмотрение основных методов борьбы с космическим мусором на околоземных орбитах.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

В связи с актуальностью проблемы космического мусора в последние годы под эгидой Европейского Космического агентства регулярно обсуждаются новейшие результаты проводимых исследований по снижению засоренности околоземного космического пространства и обеспечения безопасности космической деятельности. Анализируя и обобщая данные этих исследований, следует выделить два пути борьбы с космическим мусором на околоземных орбитах (NASA Standart 8719.14, 2007):

- предотвращение засорения околоземного космического пространства новым КМ;
- активное удаление с околоземных орбит фрагментов уже существующего космического мусора.

Одной из важнейших мер по предотвращению засоренности космической среды является информирование об опасностях, связанных с загрязненностью околоземного пространства, и о многочисленных источниках образования космического мусора. В этой связи возрастает роль действующих и создаваемых систем наблюдения, которые позволяют получать объективную информацию о космической обстановке.

Для решения проблемы столкновений и взрывов, приводящих к появлению как крупных, так и мелких частей космического мусора необходимо установить контроль над материалами, технологиями производства и запуска космических аппаратов. Во избежание столкновений КА целесообразно ввести прогнозные расчеты для установления безопасных окон стартов, исключающих пересечение траектории полета КА с пилотируемыми кораблями, находящимися на орбите.

Эффективной мерой предотвращения случайных взрывов является пассивация космических аппаратов, последних ступеней ракет-носителей и разгонных блоков после их использования в конце программы полета. Она состоит в удалении с этих объектов остатков источников энергии, включая стравливание компонентов ракетного топлива и газа наддува, консервацию химических источников тока, деактивацию пиротехнических устройств. Ранее, когда это не выполнялось, спутники, прекратившие свое активное функционирование, из-за перегрева нередко взрывались на орбите, порождая массу новых обломков.

Уменьшению числа нового космического мусора будет способствовать ограничение количества операционных элементов (заглушек, пиротехнических устройств и т.д.), которые отделяются от последних ступеней ракет, разгонных блоков, космических аппаратов и пилотируемых космических кораблей в процессе их штатной работы, а также применение автоматической системы ремонта и обслуживания спутников на орбите. Как решение – специальным роботом следует поймать спутник и отбуксировать его на борт ремонтной базы.

Экономически оправданным является применение мер по уменьшению загрязнения околоземного космического пространства на ранних стадиях конструирования КА. Широко практикуется сохранение в двигателях коррекции космических аппаратов запаса топлива, необходимого для удаления с околоземных

орбит КА, прекративших свое существование. С НОО неработающие космические аппараты энергетически выгоднее удалять путем дополнительного их снижения с последующим сгоранием в атмосфере Земли, а с орбит высотой более 20000 км – путем перевода на далекие от Земли орбиты.

В силу все нарастающей остроты проблемы космического мусора можно полагать, что в ближайшие десятилетия требования оснащать все космические аппараты системами увода с орбиты станет одной из норм международного космического права.

Такая система должна быть унифицированной с учетом массово-габаритных характеристик КА, высоты орбиты и времени, необходимого на увод космического аппарата с рабочей орбиты.

Для быстрого увода КА могут использоваться жидкостные и твердотопливные ракетные двигатели, но для этого потребуется значительный запас топлива на его борту. Если время увода не критично, то возможно применение электроракетных ракетных двигателей, что обеспечит минимизацию дополнительных средств, запасов рабочего тела и других расходных материалов, необходимых на выполнение операции увода.

Одним из элементов дополнительного оборудования КА в будущем может быть надувной шар GOLD (Kristen Gates, 2010). Это простое устройство представляет собой оболочку и небольшой баллон с газом. В нерабочем состоянии GOLD занимает мало места, а в случае необходимости газ наполняет оболочку, и рядом со спутником надувается шар диаметром до нескольких сотен метров. Эта конструкция эффективно тормозит спутник, заставляет его снизиться и, в конечном итоге, сгореть в плотных слоях атмосферы.

Преимущество данной идеи в дешевизне и простоте реализации на любых космических аппаратах. Однако есть и серьезные недостатки: эффективно воздушный шар сможет работать только на высоте около 1500 км, кроме того, он уязвим для микрометеоритов и частиц пыли, а также может увеличить вероятность столкновения с другими объектами, находящимися на орбите.

Более устойчивыми к столкновениям с фрагментами космического мусора являются магнитные средства увода КА с рабочих орбит, принцип работы которых основан на использовании магнитного взаимодействия собственного магнитного поля космического аппарата и магнитного поля Земли (Paliy, 2011). Достоинствами данных систем является небольшая масса и простота изготовления, хотя на данный момент времени эти системы не вызывают особого интереса у исследователей и разработчиков.

Согласно принятым требованиям для уменьшения загрязненности околоземного космического пространства отработанными фрагментами космической техники обязательным является выполнение следующего условия. Разгонный блок после выведения и отделения КА должен либо сойти с расчетной орбиты за счет получения тормозного импульса и впоследствии сгореть в плотных слоях атмосферы, либо за счет получения дополнительного импульса скорости перейти на более высокую, заранее установленную орбиту.

Среди возможных способов активного удаления уже существующего космического мусора следует также отметить:

- увод с орбиты свободно вращающихся объектов КМ различной формы, геометрии и поверхностных особенностей с помощью специальной системы их захвата (Branz et al., 2013), в основу которой заложена идея мягкой стыковки с удаляемым объектом за счет электросухого прилипания;

- удаление отработанных верхних ступеней ракет-носителей с помощью ионного пучка (Bombardelli, 2013). Ионный луч, выпущенный из космического аппарата, находящегося на одной орбите с фрагментом космического мусора может быть направлен на поверхность заданной цели для приложения отклоняющей силы или вращающего момента без физического контакта. В результате фрагмент теряет

свою скорость и сходит с орбиты. Этот метод очень удобен, так как способность объектов космического мусора, как правило, с неизвестными геометрическими характеристиками переворачиваться или быстро вращаться в значительной степени усложняет стыковку. Луч могут вырабатывать высокопроизводительные ионные двигатели малой тяги с высоким удельным импульсом, широко используемые в космических программах, что снижает потребность в дополнительных технологиях;

- применение для утилизации крупных фрагментов КМ космического корабля-буксира, который использует электростатические силы, также не требуя при этом физического контакта (Schaub, 2013). Используя направленный электронный луч, фрагменту сообщается заряд. В результате электромагнитного взаимодействия поля Земли с собственным полем фрагмента космического мусора возникает сила, достаточная для безопасного схода фрагмента с орбиты в течение нескольких месяцев;

- использование полиуретановой пены, образуемой при смешивании двух жидких компонентов в результате экспансивной реакции (Schaub, Sternovsky, 2013). Небольшие фрагменты космического мусора поглощаются пенной губкой, после чего губка уводится с орбиты. На данный момент времени получен оптимальный химический состав пены для работы в условиях космоса;

- применение пульсирующего лазера, излучение которого фиксируется и направляется в область существования фрагментов космического мусора с помощью зеркал (Liedahl et al., 2013). При установлении лазера на специализированном аппарате возможно удаление опасных объектов из обширных зон околоземного пространства. Однако для работы лазера требуется высокая мощность, что влечет за собой необходимость создания соответствующих источников энергии на борту КА;

- удаление массивных объектов (более 1 т) с помощью гарпунной системы, захватывающей космический мусор (Reed, 2013). Гарпун состоит из набора шипов для надежного удерживания цели, разрушаемой секции для поглощения избыточной энергии удара, и троса. Система работает на сжатом газе, так как это позволяет обеспечивать несколько выстрелов гарпуна. Недостатками данной системы является ее дороговизна и то, что она может явиться источником появления нового КМ;

- использование электродинамической тросовой системы (Emanuelli et al., 2013). Основой системы является электродинамический трос, который пристыковывается к фрагменту космического мусора. В результате взаимодействия троса с электромагнитным полем Земли фрагмент теряет скорость и сходит с орбиты. Проблема применения этой системы состоит в сложности ее развертывания в космосе и сохранении конфигурации в полете;

- удаление объектов крупного космического мусора с НОО путем применения космического тральщика с электроракетной двигательной установкой и бортовым сферическим устройством для сбора мелкого космического мусора (Dron et al., 2014). В процессе штатной работы тральщик специальным маневром должен захватить нефункционирующий КА или крупный КО и столкнуть его с орбиты для последующего сгорания в плотных слоях атмосферы.

ВЫВОДЫ

Учитывая вышеизложенное, можно утверждать, что продолжающиеся в различных направлениях работы, связанные с регулированием общего количества запускаемых космических аппаратов, исключением взрывов космических объектов, уменьшением числа сопутствующих фрагментов КМ при запусках и эксплуатации КА, а также предложенные способы и системы активного удаления фрагментов уже существующего космического мусора позволяют надеяться на снижение уровня засоренности околоземного пространства техногенными объектами уже в ближайшее время.

Предметом дальнейших исследований должен быть поиск конструктивных схем ракет-носителей, разгонных блоков и космических аппаратов, предусматривающих недопущение образования космического мусора.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

- Bombardelli, C., Herrera-Montojo, J. and Gonzalo L., 2013.** Multiple Removal of Spent Rocket Upper Stages with an Ion Beam Shepherd, Proceedings of the sixth conference on space debris, ESOC, Darmstadt, Germany, Technical University of Madrid.
- Branz, F., Savioli, L., Francesconi A., et al., 2013.** Soft-Docking system for capture of irregularly shaped, uncontrolled space objects, Proceedings of the sixth conference on space debris, ESOC, Darmstadt, Germany, University of Padova, Simon Fraser University.
- Dron, N. M., Horolsky, P. G., Dubovik, L. G., 2014.** К одному способу увода космічних об'єктів з низьких орбіт [To one way of de-orbit the space objects from low earth orbits], Aerospace Technique and Technology, 7 (114), 17–20 (in Russian).
- Emanuelli, M., Nasser, A., Raval, S., et al., 2013.** Active space debris removal using European modified launch vehicle upper stages equipped with electrodynamic tethers, Proceedings of the sixth conference on space debris, ESOC, Darmstadt, Germany, Space Generation Advisory Council, University of Toronto, Sardar Vallabhbhai Patel Institute of Technology, University of Surrey, University of Cape Town, South African Astronomical Observatory, Dresden.
- Kessler, D., Cour-Palais, B., 1978.** Collisional Frequency of Artificial Satellites: The creation of a debris belt. J. Geophysical Research, 83, A6.
- Kristen Gates, 2010.** Proceedings of the Astrodynamics Specialists Conference, Toronto, Canada, August 2–5.
- Liedahl, D., Rubenchik, A., Libby, S., et al., 2013.** Pulsed Laser Interactions with space debris: Target shape effects, Proceedings of the sixth conference on space debris, ESOC, Darmstadt, Germany, Lawrence Livermore National Laboratory, Photonic Associates.
- NASA Standard 8719.14., 2007.** Process for Limiting Orbital Debris, NASA, 82 p.
- Orbital Debris Quarterly News, 2013,** National Aeronautics and Space Administration, Volume 17, Issue 3, 7 p.
- Orbital Debris Quarterly News, 2014,** National Aeronautics and Space Administration, Volume 18, Issue 3, 10 p.
- Paliy, A. S., 2014.** Metody i sredstva uvoda kosmicheskikh apparatov s rabochikh orbit (Sostoianie problemy) [Methods and means of withdrawal of space vehicles from working orbits (A problem Condition)], The collection of reports of scientific conference «The Information technology in control of difficult systems», pub. House «Svidler A. L.», 94–102 (in Russian).
- Reed, J., 2013.** Development of harpoon system for capturing space debris, Proceedings of the sixth conference on space debris, ESOC, Darmstadt, Germany.
- Rizzitelli, F., Bellini, N., Candini, P., Ditaranto, A., ets., 2013.** Active Debris System based on Polyurethane Foam, Proceedings of the sixth conference on space debris, ESOC, Darmstadt, Germany, University of Bologna, University of Rome.
- Schaub, H., Sternovsky Z., 2013.** Active Space Debris Charging for Electrostatic Disposal Maneuvers, Proceedings of the sixth conference on space debris, ESOC, Darmstadt, Germany, University of Colorado Laboratory for Atmospheric and Space Physics, Univ. of Colorado.

Стаття надійшла в редакцію: 21.09.2015

Рекомендує до друку: канд. техн. наук, стар. наук. співр. В. В. Хуторний