

УДК 629.7

DOI: 10.15593/2224-9982/2022.71.23

**М.А. Устинов, Р.А. Пешков, П.А. Третьяков, Д.А. Малых**

Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

## **СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ БОРЬБЫ С КОСМИЧЕСКИМ МУСОРОМ**

Изложены современные способы увода малых космических аппаратов с низкой околоземной орбиты с целью определения наиболее универсального метода решения проблемы засорения космического пространства завершившими свое функционирование малыми аппаратами или их обломками. Приведена статистика запусков малых спутников за последние несколько лет, описаны достоинства и недостатки способов их увода с оценкой времени для выполнения задачи очищения космического пространства на низкой околоземной орбите Земли. Также рассмотрены принципы действия механизмов увода малых космических аппаратов и выделен наиболее универсальный способ, который отличается удовлетворительными энергетическими, массовыми характеристиками, простой конструкцией и минимальными размерами. Результаты работы представлены в виде таблиц, в которых для решения задачи увода малых космических аппаратов с низкой околоземной орбиты Земли рассчитаны параметры тяги и суммарного удельного импульса в зависимости от вида предлагаемого универсального метода. Сделаны выводы о существующих методах и лабораторных образцах и испытаниях, которые в дальнейшем планируют развиваться в направлении очищения космического пространства от закончивших свою миссию малых спутников и их обломков.

**Ключевые слова:** малые космические аппараты, космический мусор, импульсные двигатели, коррекция, кубсат, низкая околоземная орбита, орбита захоронения, увод, твердое топливо, двигательная установка.

**M.A. Ustinov, R.A. Peshkov, P.A. Tretyakov, D.A. Malyh**

South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

## **MODERN WAYS OF DEALING WITH SPACE DEBRIS**

The article describes modern ways of removing small spacecraft from low-Earth orbit in order to determine the most universal approach to the solution of the space issue contamination by small satellites or their debris that have completed their operation. Statistical data on launches of small satellites over the last few years is presented, the advantages and disadvantages of ways of their withdrawal are described with estimation of time to complete the task of space debris clearance at low-Earth orbit. The principles of operation of withdrawal mechanisms for small spacecraft were also considered and the most universal method, which has satisfactory energy and mass characteristics, simple construction and minimal size, was singled out. The results of the work are presented in the form of tables in which the thrust and total specific impulse parameters are calculated for solving the task of withdrawal of small spacecraft from low Earth orbit of the Earth, depending on the type of the proposed universal method. Conclusions were made about the existing methods and about the laboratory samples and tests, which in the future plan to develop in the direction of clearing the space from the completed mission of small satellites and their debris.

**Keywords:** small spacecraft, space debris, pulse engines, correction, cubesat, low Earth orbit, disposal orbit, debris orbit, deorbit, solid propellant, propulsion system.

На сегодняшний момент происходит резкое увеличение запусков малых космических аппаратов (КА). Низкая стоимость, малое время производства и простота разработки позволяют развертывать целые группировки спутников как студентам, так и крупным корпорациям. По данным Nanosats Database (рис. 1), на орбитах Земли находятся сотни аппаратов весом 1–50 кг, и в будущем это число будет расти с невероятной скоростью [1]. В основном малые КА используются на низкой околоземной (500–1000 км) и высокой эллиптической орбитах [2]. Опасность заключается в возможном столкновении спутников с функционирующими станциями или другими аппаратами, а по синдрому Кesslera [3] в какой-то момент это может вызвать цепную реакцию и уничтожение всех КА, выполняющих миссии.

Исходя из этого, учеными и конструкторами был поднят вопрос об очищении космического пространства от ненужного мусора. Универсального способа борьбы с данной проблемой нет. Существуют активные и пассивные методы увода космического мусора. К первым относятся методы с использованием своих дополнительных двигателей малой тяги (РДМТ) либо

использование КА со специальными механизмами захвата; ко вторым относятся методы, использующие внешнюю среду.

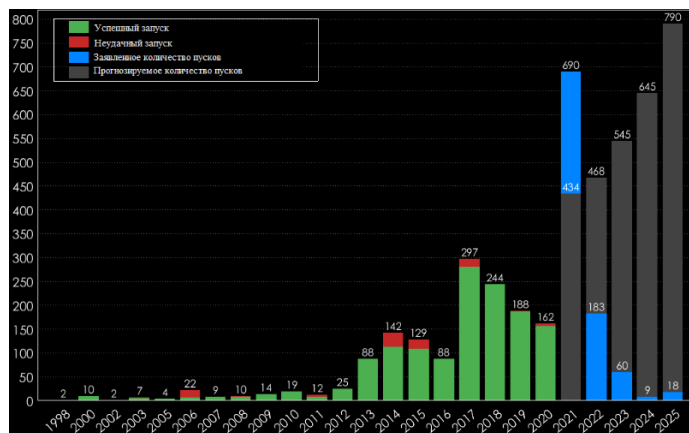


Рис. 1. График запусков малых космических аппаратов

Цель статьи – изучение имеющихся методов увода малых космических аппаратов и предложение собственной идеи для решения данной проблемы.

Чтобы достичь указанной цели, необходимо произвести обзор существующих разработок в мире, условий их применения и определить наиболее универсальный метод.

На высоте до 600 км на перемещение космических тел значительно влияет атмосфера, с помощью которой объекты могут замедляться и входить в плотные слои атмосферы. Для ускорения процесса торможения были разработаны механизмы, увеличивающие площадь космического мусора [4]. На КА закрепляются сложные конструкции в виде шаров (рис. 2) и парусов, а также используется пена, способная увеличиваться в тысячу раз, и кот. Её применение является более надежным способом, поскольку КА может облететь несколько объектов и закрепить на них контейнеры с пеной [5, 6]. Данный метод способен увести объект массой от 3 до 5 кг за 10 сут.



Рис. 2. Развертывание надувного шара

На высоте от 600 до 800 км сила воздействия фотонов преобладает над силой сопротивления атмосферы, поэтому целесообразнее использовать механизм развертывания паруса (рис. 3), взаимодействующего с солнечным светом. А при снижении до 500 км парус способен работать по вышеизложенному методу с помощью атмосферы. Основным недостатком является размер лепестков с длиной, достигающей 5–10 м. Такая хрупкая конструкция может разрушиться при столкновении с пролетающим фрагментом мусора [7].

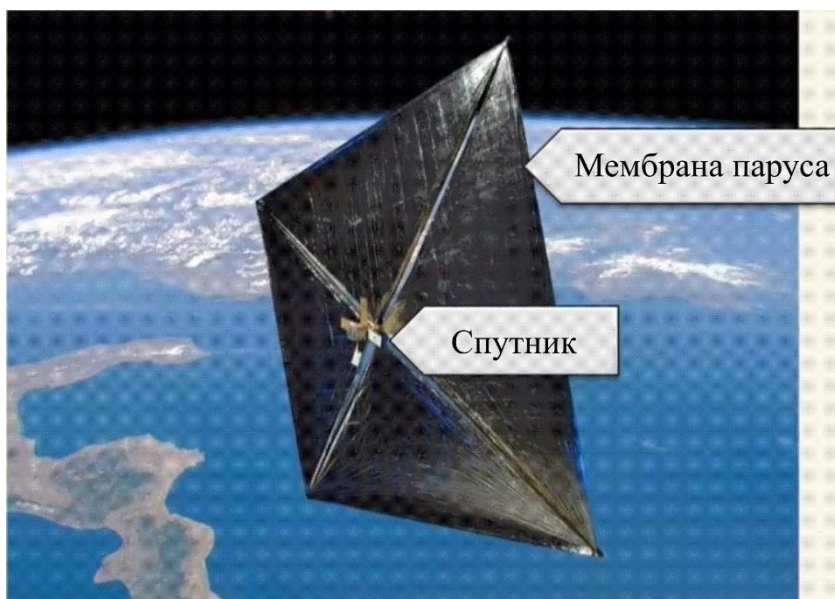


Рис. 3. Применение солнечного паруса

На рис. 4 представлена разработка по использованию электродинамического троса, вдоль которого течет ток во время перемещения в магнитном поле Земли, вследствие чего возникает сила Лоренца, с помощью которой происходит торможение космического аппарата [8]. В табл. 1 представлена разница между естественным сходом с орбиты малого КА и при использовании электродинамического троса.

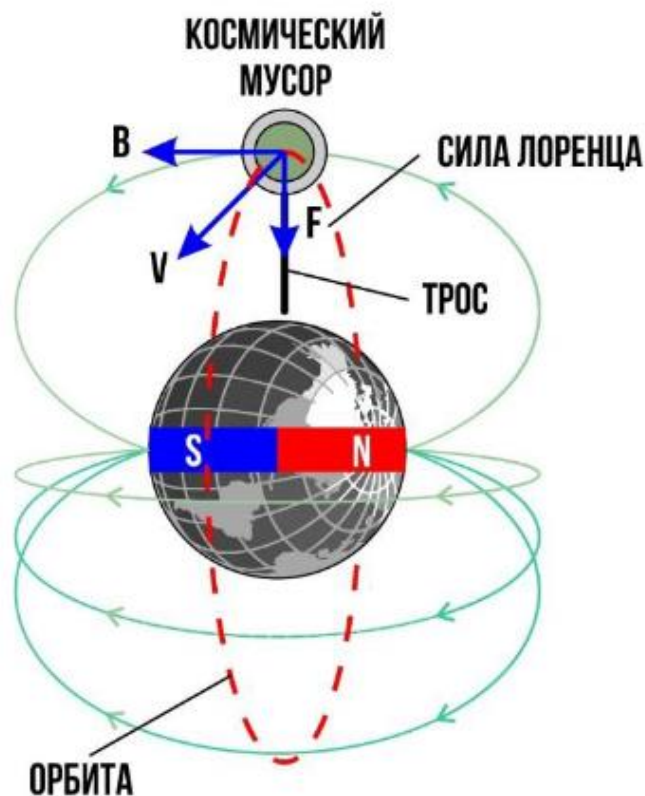


Рис. 4. Принцип взаимодействия магнитного поля Земли с тросом

Таблица 1

## Сравнение методов увода с орбиты

Высота орбиты, км	Время схода с орбиты	
	самостоятельный сход с орбиты, лет	электродинамическая тросовая система, часть года
500	14	1/6
600	41	1/6
700	110	1/4
800	260	1/3
900	660	5/12
1000	1537	1/2

Описанные выше приборы возможно установить на еще не запущенные малые спутники для предотвращения дальнейшего засорения космического пространства, но проблему уже существующего мусора они не решают, так как установка оборудования на объект весьма затруднительна из-за его вращения, вследствие чего КА может разрушиться из-за инерции.

Космический мусор выше 1000 км энергетически эффективнее уводить на орбиту захоронения запущенными КА. Для бесконтактного активного метода имеются разработки лазерной установки, которая с Земли направляла бы луч на частицы мусора менее 10 см и импульсом останавливала бы их (рис. 5). Такая установка может располагаться как на Земле [9], так и в космосе [10, 11] и способна очистить орбиту до 800 км за 2 г. [12], но основным недостатком является высокое энергопотребление и изменчивое направление луча из-за вращения объекта.



Рис. 5. Принцип действия лазерной установки [11]

Более надежным бесконтактным методом является использование КА с направленным потоком частиц, создаваемым ионным двигателем (рис. 6). Полученная сила может быть в пределах от нескольких до десятков миллиньютонов. Но такой направленный поток способен усложнить работу, поскольку он воздействует на хаотично вращающийся объект неопределенной формы.

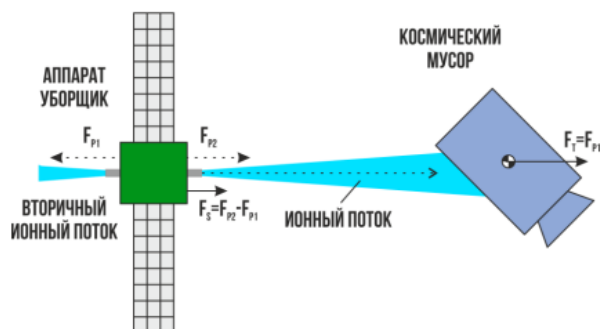


Рис. 6. КА с направленным потоком частиц [11]

Аналогичным принципом могут служить электростатические поля (рис. 7). КА и объект наведения заряжаются разными зарядами, после чего возникает сила Кулона и сборщик способен как тянуть, так и толкать мусор в зависимости от заряда и регулировать расстояние с помощью собственного двигателя.

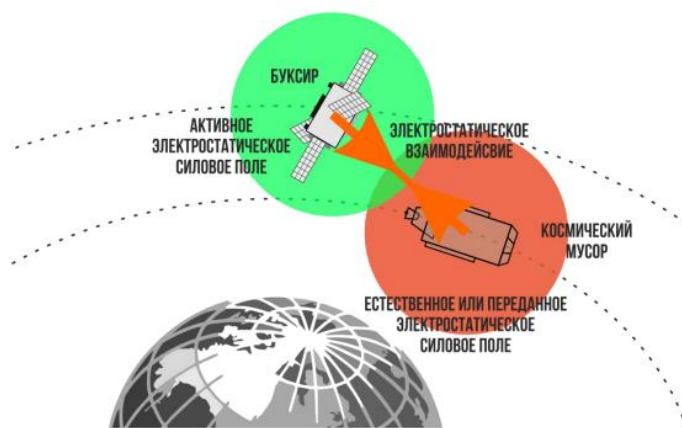


Рис. 7. КА с использованием физического поля [11]

К контактным активным методам относятся механизмы с использованием сетей (рис. 8) или жесткого зацепления роботизированного манипулятора (рис. 9), но основная проблема заключается в сложности захвата пролетающих частиц, так как они неконтролируемо вращаются и способны увести КА по инерции с направления движения либо вовсе разрушить механизм. И такие методы чаще используются для крупногабаритного космического мусора (КМ) [13].

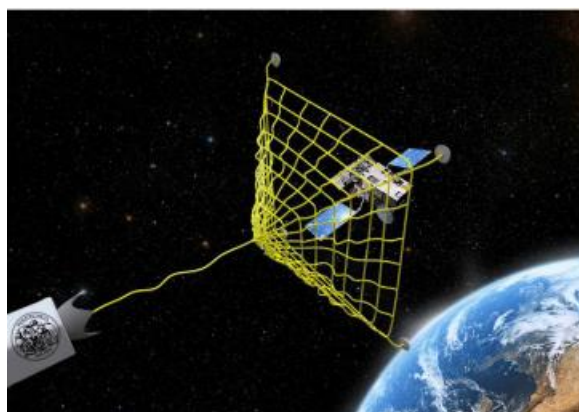


Рис. 8. Пример захвата КМ сетью

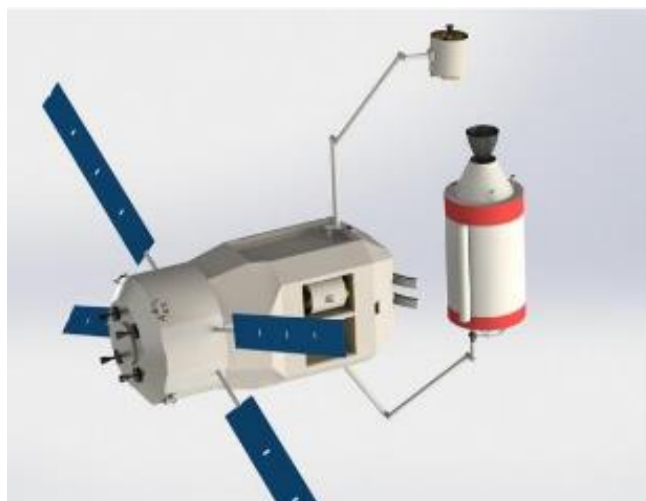


Рис. 9. Пример захвата КМ [11]

Также существуют разработки по утилизации космического мусора. В 2018 г. был представлен проект, идея которого заключается в создании устройства, способного сетью захватывать объекты и перерабатывать их в топливо для двигателя, после чего появляется возможность перемещаться по орбитам. Но проект пока не получил продолжения [14]. Зарубежная технология Phoenix является одним роботизированным комплексом, с малыми спутниками на борту, способными доставлять неактивные КА на станцию для их переработки с целью извлечения полезных материалов для дальнейшего использования [15].

Более надежным и естественным способом является применение двигателей малой тяги. Существуют электрические и ядерные ракетные двигатели, а также установки, использующие сжатый газ или продукты реакции топлива. Их необходимо предусматривать на этапах производства спутника, и в отличие от известных пассивных методов обломки с меньшей вероятностью столкнутся с двигателями. Для имеющихся уже неработающих кубсатов нужно продумать систему стабилизации [16] и затем крепить на них двигательные установки (ДУ). Электрические и ядерные практически не используются. Существуют лишь лабораторные модели, но они остаются актуальными в связи с высокими тяговыми характеристиками относительно количества рабочего тела и массы. Двигатели на сжатом газе хотя просты и надежны, но имеют низкую экономичность. Остаются самые широко используемые – жидкостные ракетные двигатели (ЖРД) малой тяги. Исходя из требований эксплуатации и возможности применения «зеленого топлива» целесообразнее применять монотопливные [17]. В соответствии с имеющимися на орбите малыми КА в табл. 2 сформированы минимальные параметры для преодоления сил сопротивления окружающей среды [18].

Таблица 2

## Требования к ДУ

Космический аппарат	Требуемая тяга ДУ коррекции, Н	Суммарный импульс ДУ коррекции, кН·С
Дистанционное зондирование земли (ДЗЗ)	$8 \cdot 10^{-3}$	11–16
Связные на низких круговых орбитах	0,15–1,1	5
Навигационные на высоких круговых орбитах	1–5,1	43–54
Связные на высокоэллиптических орбитах (ВЭО)	11–2000	70–80
Геостационарные	$42 \cdot 10^{-3}$ – $53 \cdot 10^{-3}$	1800–4000

Необходимо окончательно выяснить, какие РДМТ эффективнее для разных высот. По оценке масс, заправленных ДУ, в табл. 3 можно заметить, что относительное равенство между электрореактивными двигательными установками (ЭРДУ) и жидкостными ракетными двигателями достигается при импульсе в 100–130 кН·с, и чем выше этот импульс, тем легче электрические ракетные двигатели, если ниже, то легче жидкостные. ЭРДУ при существующих КА имеют тягу до 0,1 Н и суммарный импульс до 5000 кН·с, соответственно для аппаратов навигации и связанных на ВЭО применение ЭРДУ невозможно, поскольку предъявляются достаточно высокие требования. Исходя из этого, для электрореактивных двигателей подходят геостационарные орбиты и малые КА с задачами ДЗЗ, ввиду больших требований к суммарному импульсу, но во втором случае возникает вопрос надежности. ЭРДУ легче ЖРД, но наличие дополнительных электрических приборов увеличивает риск поломки, и применение такого двигателя может быть обусловлено лишь жестким требованием по массе.

Таблица 3

Масса заправленных ДУ различного типа

Масса заправленной ДУ	Суммарный импульс, кгс·с (кН·с)			
	113 (1,13)	561 (5,61)	1000 (10)	1500 (15)
Пневмосистема, кг	10,4	29,2	37,5	73,4
ДУ на одном жидком компоненте, кг	–	7,6	11,8	14,2
ДУ на двух жидких компонентах, кг	–	7,3	12,1	17,9
ЭРДУ, кг	–	8,9	9,3	9,8

Также можно заметить, что получившиеся массы слишком велики для кубсатов, имеющих вес до 1,5 кг. С этой точки зрения стоит рассмотреть импульсные двигатели коррекции (ИДК) на твердом топливе. Они просты и надежны и уже давно используются для отстрела ступеней ракет-носителей, коррекции траектории управляемых снарядов, торможения в плотных слоях атмосферы и т.д. [19]. ИДК при сравнительно небольшой массе (0,5–30 кг) имеют достаточно высокий суммарный удельный импульс (30–20000 Н·с) и время работы от 0,2 до нескольких секунд. Для кубсата со сторонами 10 см на высоте 500 км минимальная необходимая тяга равняется  $4 \cdot 10^{-7}$  Н, а суммарный удельный импульс 63 Н·с. Согласно патенту [20] ИДК с рассчитанными характеристиками весит примерно 2,5 кг и имеет длину 310 и диаметр 15,5 мм. Все еще не подходит для одного кубсата, но является неплохим вариантом для многоюнитовых группировок.

Проведя обзор существующих методов увода малых космических аппаратов с орбиты Земли, можно заметить, что универсального способа не существует. Пассивные методы возможно применить только на новые малые КА, использование которых будет не выше 1000 км. Запуск дополнительных КА для метода активного увода не решает проблему очищения космического пространства, поскольку мусор лишь доставляется на орбиту захоронения. Наиболее универсальным на сегодняшний момент является активный метод с использованием двигателей малой тяги. Для требований по низкому суммарному импульсу подойдут надежные и простые пневмосистемы; для КА с задачами ДЗЗ лучше воспользоваться двигателями на химическом топливе, ввиду их надежности. На ВЭО и высоких круговых орбитах следует применять монотопливные и двухкомпонентные ДУ, а на геостационарной орбите эффективнее ЭРДУ. До сих пор остается нерешенной задача со спутниками массой менее 2 кг, но малые ДУ на твердом топливе – пока единственный наиболее подходящий вариант.

## Библиографический список

1. Nanosats Database [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.nanosats.eu/> (дата обращения: 26.07.2022).
2. Sims E. M., Braun B. M. Policy compliance roadmap for small satellites. – 2021. P. 1–28.
3. Ключников В. Ю. Синдром Кесслера. Будет ли закрыта дорога в космос? / Центральный научно-исследовательский институт машиностроения. – М., 2021. – С. 34–43.
4. Pelton J.N. New solutions for the space debris problem. – Springer, 2015. – 94 p.
5. Visagie L., Lappas V. Hybrid solar sails for active debris removal // ESA Ariadna study AO. – 2011. – Vol. 6411, no. 10. – P. 1–59.
6. Палий А.С. Методы и средства увода космических аппаратов с рабочих орбит (состояние проблемы) // Техническая механика. – 2012. – No. 1. – С. 94–102.
7. Johnson L., Alhorn D., Boudreaux M. Solar and Drag Sail Propulsion // From Theory to Mission Implementation. – 2021. – P. 1–10.
8. Soulard R. ICAN: A novel laser architecture for space debris removal // Acta Astronautica. – 2014. – Vol. 105, no. 1. – P. 192–200.
9. Phipps C.R., Bonnal C. A spaceborne, pulsed UV laser system for re-entering or nudging LEO debris, and re-orbiting GEO debris // Acta Astronautica. – 2016. – Vol. 118. – P. 224–236.
10. Зеленский Л.М., Шустов Б.М. Всероссийская научная конференция с международным участием // Космический мусор: фундаментальные и практические аспекты угрозы ИКИ РАН, Москва, 17–19 апреля 2019. – С. 39–42.
11. Пикалов Р.С., Юдинцев В.В. Обзор и выбор средств увода крупногабаритного космического мусора // Труды МАИ. – 2018. – № 100.
12. Liedahl D.A., Libby S.B., Rubenchik A. Momentum transfer by laser ablation of irregularly shaped space debris // AIP Conference Proceedings. – 2010. – Vol. 1278, no. 1. – P. 772–779.
13. Shan M., Guo J., Gill E. Review and comparison of active space debris capturing and removal methods // Progress in Aerospace Sciences. – 2015. – Vol. 80. – P. 18–32.
14. Баркова М.Е. Космический аппарат для утилизации космического мусора в околоземном пространстве // Труды МАИ. – 2019. – №103.
15. Трофимов С.П. Увод малых космических аппаратов с низких околоземных орбит / Московский физико-технический институт. – М., 2015. – С. 126.
16. Рыжков В.В., Сулинов А.В. Двигательные установки и ракетные двигатели малой тяги на различных физических принципах для систем управления малых и сверхмалых космических аппаратов. // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроения. – 2018. № 4. – С. 14.
17. Ермошкин Ю.М. Области рационального применения электроракетных двигательных установок на космических аппаратах прикладного назначения // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М.Ф. Решетнёва. – 2011. – № 2 (35). – С. 109–113.
18. Жолтаева Ж.Е. Анализ и выбор двигателей малой тяги для космических аппаратов серии «КУБСАТ» / Филиал «Восход» Московского авиационного института. – Байконур, 2021. – С. 4.
19. Гладков И.М., Ермаков Ю.П. Двигатели специального назначения импульсного типа на твердом топливе. Основы проектирования, конструкция и опыт отработки. – М.: ЦНИИ информации, 1990. – С. 116.
20. Малогабаритный импульсный РДТТ, работающий в режиме низкоскоростной детонации: пат. Рос. Федерация 26448004С1 / Ермолаев Б.С., Сулимов А.А.; заявл. 24.10.2016; опубл. 14.02.2018, Бюл. № 5.



## References

1. Nanosats Database [Электронный ресурс]: <https://www.nanosats.eu/> (дата обращения 26.07.2022)
2. Sims E. M., Braun B. M. Policy compliance roadmap for small satellites, 2021, pp. 1-28. (In Russ.).
3. Klyushnikov V. Yu. Kessler's syndrome. Will the road to space be closed? // Central Research Institute of Mechanical Engineering, Moscow, 2021, pp. 34-43.
4. Pelton J.N. New solutions for the space debris problem, Springer, 2015, 94 p. (In Russ.).
5. Visagie L., Lappas V. Hybrid solar sails for active debris removal // ESA Ariadna study AO, 2011, vol. 6411, no. 10, pp. 1 – 59.
6. Paly A.S. Methods and means of removing spacecraft from working orbits // Technical mechanics. 2012 No. 1. pp. 94 – 102.
7. Johnson L., Alhorn D., Boudreaux M. Solar and Drag Sail Propulsion: From Theory to Mission Implementation, 2021, pp. 1-10. (In Russ.).
8. Soulard R. ICAN: A novel laser architecture for space debris removal // Acta Astronautica, 2014, vol. 105, no. 1, pp. 192 – 200. (In Russ.).
9. Phipps C.R., Bonnal C. A spaceborne, pulsed UV laser system for re-entering or nudging LEO debris, and re-orbiting GEO debris // Acta Astronautica, 2016, vol. 118, pp. 224 – 236.
10. Pikalov R.S., Yudintsev V.V. Review and selection of large-sized space debris removal means // Proceedings of the Moskovskii aviatsionnyi institut. 2018. No. 100. (In Russ.).
11. Zelensky L.M., Shustov B.M. All-Russian Scientific Conference with International Participation Space Debris: Fundamental and Practical Aspects of the Threat IKI RAS, Moscow, April 17–19, 2019, pp. 39–42. (In Russ.).
12. Liedahl D.A., Libby S.B., Rubenchik A. Momentum transfer by laser ablation of irregularly shaped space debris // AIP Conference Proceedings, 2010, vol. 1278, no. 1, pp. 772 – 779.
13. Shan M., Guo J., Gill E. Review and comparison of active space debris capturing and removal methods // Progress in Aerospace Sciences, 2015, vol. 80, pp. 18 – 32.
14. Barkova M.E. Spacecraft for disposal of space debris in near-Earth space // Proceedings of MAI. 2019. No. 103. (In Russ.).
15. Trofimov S.P. Removal of small spacecraft from low Earth orbits. Moscow Institute of Physics and Technology, Moscow, 2015, 126 p. (In Russ.).
16. Ryzhkov V.V., Sulinov A.V. Propulsion systems and low-thrust rocket engines based on various physical principles for control systems of small and ultra-small space vehicles. Bulletin of the Samara University. Aerospace engineering, technology and engineering, Samara, 2018, 14 p. (In Russ.).
17. Ermoshkin Yu.M. Areas of rational use of electric rocket propulsion systems on spacecraft for applied purposes // Bulletin of the Siberian State Aerospace University. Academician M.F. Reshetnev. 2011. No. 2 (35). pp. 109-113. (In Russ.).
18. Zholtaeva Zh.E. Analysis and selection of low-thrust engines for spacecraft of the KUBSAT series. Branch "Voskhod" of the Moscow Aviation Institute, Russian Federation, Baikonur, 2021, p. four. (In Russ.).
19. Gladkov I.M., Ermakov Yu.P. Engines of a special purpose of impulse type on solid fuel. Fundamentals of design, design and development experience, Moscow, Central Research Institute of Information, 1990, 116 p. (In Russ.).
20. Yermolayev B.S., Sulimov A.A. Malogabaritnyy impulsnyy RDTT, rabotayushchiy v rezhime nizkoskorostnoy detonatsii [Small-sized pulse solid propellant rocket engine operating in the low-velocity detonation mode]. Patent Rossiiskaia Federatsiia 26448004C1. – 2018.

### Об авторах

**Устинов Михаил Алексеевич** (Челябинск, Россия) – студент, лаборант лаборатории «Ракеты-носители, космические и беспилотные летательные аппараты», Политехнический институт ЮУрГУ (Челябинск, 454080, пр. Ленина, 76, e-mail: strangertaddy3@gmail.com).

**Пешков Руслан Александрович** (Челябинск, Россия) – кандидат технических наук, доцент, руководитель лаборатории «Ракеты-носители, космические и беспилотные летательные аппараты» Политехнический институт ЮУрГУ (Челябинск, 454080, пр. Ленина, 76, e-mail: peshkovra@susu.ru, ORCID 0000-0002-2063-2107).

**Третьяков Павел Александрович** (Челябинск, Россия) – студент, лаборант лаборатории «Ракеты-носители, космические и беспилотные летательные аппараты», Политехнический институт ЮУрГУ (Челябинск, 454080, пр. Ленина, 76, e-mail: paveltretyakov112@gmail.com).

**Малых Дарья Андреевна** (Челябинск, Россия) – инженер-конструктор лаборатории «Ракеты-носители, космические и беспилотные летательные аппараты», Политехнический институт ЮУрГУ, аспирант, ассистент преподавателя (Челябинск, 454080, пр. Ленина, 76, e-mail: malyhda@susu.ru, ORCID: 0000-0002-2685-2493).

### About the authors

**Mikhail A. Ustinov** (Chelyabinsk, Russian Federation) – laboratory assistant of the laboratory Launch vehicles, space and unmanned aerial vehicles, SUSU Polytechnic Institute, student (76, Lenin av., 454080, Chelyabinsk, e-mail: strangertaddy3@gmail.com).

**Ruslan A. Peshkov** (Chelyabinsk, Russian Federation) – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Laboratory "Launch vehicles, spacecraft and unmanned aerial vehicles", SUSU Polytechnic Institute (76, Lenin av., 454080, Chelyabinsk, e-mail: peshkovra@susu.ru, ORCID: 0000-0002-2063-2107)

**Pavel A. Tretyakov** (Chelyabinsk, Russian Federation) – Student, laboratory assistant of the laboratory Launch vehicles, space and unmanned flying vehicles, SUSU Polytechnic Institute (76, Lenin av., 454080, Chelyabinsk, e-mail: paveltretyakov112@gmail.com).

**Daria A. Malyh** (Chelyabinsk, Russian Federation) – engineer-constructor of the laboratory Launch vehicles, spacecraft and unmanned aerial vehicles, SUSU Polytechnic Institute, postgraduate student, assistant professor (76, Lenin av., 454080, Chelyabinsk, e-mail: malyhda@susu.ru, ORCID: 0000-0002-2685-2493).

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Вклад авторов.** Все авторы сделали равный вклад в подготовку публикации.

Поступила: 01.10.2022

Одобрена: 30.11.2022

Принята к публикации: 05.12.2022

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом: Устинов, М.А. Современные способы борьбы с космическим мусором / М.А. Устинов, Р.А. Пешков, П.А. Третьяков, Д.А. Малых // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Аэрокосмическая техника. – 2022. – № 71. – С. 210–219. DOI: 10.15593/2224-9982/2022.71.23

Please cite this article in English as: Ustinov M.A., Peshkov R.A., Tretyakov P.A., Malyh D.A. Modern ways of dealing with space debris. *PNRPU Aerospace Engineering Bulletin*, 2022, no. 71, pp. 210–219. DOI: 10.15593/2224-9982/2022.71.23