

УДК 629.7.086

DOI: 10.47813/rosnio.2022.3.83-89

EDN: [NJGXIM](https://nsc.ru/edn/NJGXIM)



## Навигационный контроль космического мусора

**И.Н. Карцан<sup>1,2,3,4,\*</sup>, А.О. Жуков<sup>4,5</sup>, Д.Г. Кузнецов<sup>6</sup>,  
А.Ю. Мордвинова<sup>3</sup>, Р.Ф. Исмагилов<sup>4</sup>, Б.А. Нерсесов<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, просп. им. газ. «Красноярский рабочий», д. 31, г. Красноярск, 660037, Россия

<sup>2</sup>Морской гидрофизический институт РАН, ул. Капитанская, д.2, г. Севастополь, 299011, Россия

<sup>3</sup>ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Россия

<sup>4</sup>ФГБНУ «Аналитический центр», ул. Талалихина, 33/4, г. Москва, 109316, Россия

<sup>5</sup>ФГБУН «Институт астрономии Российской академии наук», ул. Пятницкая, 48, г. Москва, 119017, Россия

<sup>6</sup>ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова», ул. Двинская, 5/7, г. Санкт-Петербург, 198035, Россия

\*E-mail: [kartsan2003@mail.ru](mailto:kartsan2003@mail.ru)

**Аннотация.** Проведены исследования, и качественный анализ эффективности применения навигационного контроля радиотехническими и оптическими средствами за космическими объектами, которые представляют опасность для дальнейшего исследования космоса.

**Ключевые слова:** космический мусор, околоземная орбита, навигация объекта, космическая группировка

## Navigation control of space debris

**I.N. Kartsan<sup>1,2,3,4,\*</sup>, A.O. Zhukov<sup>4,5</sup>, D.G. Kuznetsov<sup>6</sup>,  
A.Yr. Mordvinova<sup>3</sup>, R.F. Ismagilov<sup>4</sup>, B.A. Nersesov<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, 31, Krasnoyarsky Rabochy Av., Krasnoyarsk, 660037, Russia

<sup>2</sup>Marine Hydrophysical Institute, Russian Academy of Sciences», 2, Kapitanskaya Str., Sevastopol, 299011, Russia

<sup>3</sup>Sevastopol State University, University Str. 33, Sevastopol, 299053, Russia

<sup>4</sup>"Analytical Center", Talalikhina Str., 33, Building 4, Moscow, 109316, Russia

<sup>5</sup>Institute of Astronomy of the Russian Academy of Sciences, 48, Pyatnitskaya Str., Moscow, 119017, Russia

<sup>6</sup>Federal State Educational Institution of Higher Education "Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping" 5/7, Dvinskaya str, Saint-Petersburg, 198035, Russia,

\*E-mail: [kartsan2003@mail.ru](mailto:kartsan2003@mail.ru)

**Abstract.** Conducted research and qualitative analysis of the effectiveness of navigational control by radio and optical means for space objects that pose a threat to further space exploration.

**Keywords:** space debris, earth orbit, object navigation, space constellation

## 1. Введение

Под космическим мусором (КМ) подразумеваются все искусственные объекты и их фрагменты в космосе, которые уже неисправны, не функционируют и никогда более не смогут служить никаким полезным целям, но являются опасным фактором воздействия на функционирующие космические аппараты (КА), особенно пилотируемые. В некоторых случаях объекты КМ могут представлять непосредственную опасность для Земли: если они крупные или содержат на борту опасные ядерные или токсичные материалы. При неконтролируемом сходе таких объектов с орбиты, неполном сгорании при прохождении плотных слоев атмосферы Земли и выпадении обломков на населённые пункты, промышленные объекты, транспортные коммуникации и т.п.

В настоящее время в районе низких околоземных орбит (НОО) вплоть до высот около 2000 км. находится, по разным оценкам, более 1 млн. техногенных объектов размерами больше 1 см. общей массой порядка 5000 тонн [1-4].

Лишь небольшая часть фрагментов КМ (примерно 10%) была обнаружена, отслеживается и внесена в каталоги с помощью наземных радиолокационных и оптических средств. Например, в каталог космических объектов NORAD [5-7], на 2021 год входило примерно 34 000 отслеживаемых фрагментов КМ. Все они крупнее 10 см. так как, в этот каталог заносятся сведения обо всех крупных искусственных космических объектах, выведенных на орбиту Земли, в каталог включаются объекты крупнее 10 см., это размер зависит от высоты орбиты объекта. К таким объектам относятся КА, последние ступени ракетносителей, крупные фрагменты конструкций (обтекатели и т.п.), разгонные блоки, а также крупные фрагменты космического мусора, образующиеся при столкновении и разрушении КА. Пятизначный идентификационный номер каталога NORAD уникально указывает на каждый из этих объектов. В каталоге NORAD не публикуются сведения о некоторых объектах, например, о военных КА США [6]. Пока объект присутствует на орбите в каталоге публикуются сведения о его орбитальных параметрах в формате TLE, который стал фактическим стандартом. Эти данные регулярно обновляются с периодичностью от 2 дней до 2 недель. Большая часть фрагментов КМ была создана в ходе космической деятельности СССР, США и Китаем.

Около 6% отслеживаемых объектов – действующие КА, около 22% объектов – КА, которые прекратили функционирование, 17 % объектов –отработанные последние ступени и разгонные блоки ракетносителей и, наконец, около 55% – отходы,

технологические элементы, появляющиеся в ходе запусков, а также обломки от взрывов, столкновений и фрагментации.

## 2. Основная часть

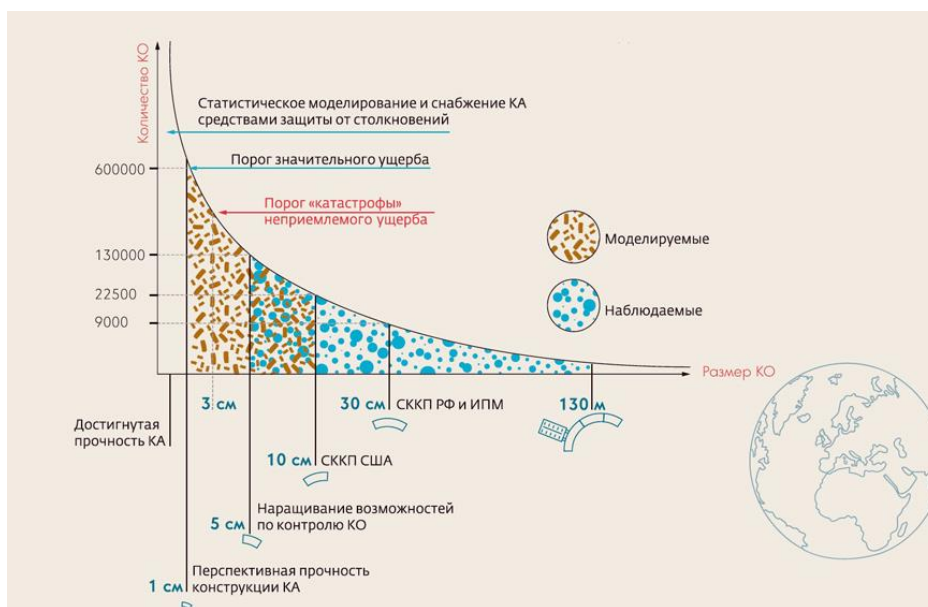
Большинство объектов находится на орбитах с высоким наклоном, плоскости которых пересекаются, поэтому средняя скорость их относительного движения составляет около 11 км/с. Вследствие огромного запаса кинетической энергии столкновение любого из этих объектов с действующим космическим аппаратом может повредить его или даже вывести из строя. Примером может послужить первый случай столкновения искусственных спутников: Космос-2251 и Iridium 33, произошедший 10 февраля 2009 года. В результате оба спутника полностью разрушились, образовав свыше 600 обломков.

Опасными для КА могут быть фрагменты КМ размерами более 1 мм. Конструкции современных КА позволяют им в большинстве случаев продолжить своё функционирование после однократного столкновения с фрагментом КМ размером 2-3 мм. Перспективные конструкции КА, со специальными техническими средствами защиты от столкновений с КМ, вероятно, смогут выдерживать одиночные столкновения с фрагментами размером до 1 см. Столкновение с обломком КМ размером 3 см и больше наносит любому КА неприемлемый ущерб (рисунок 1) [8-10].

При этом наземными оптическими и радиолокационными методами мы сегодня обнаруживаем только фрагменты начиная с 10 см размера.

Наиболее засорены те области орбит вокруг Земли, которые чаще всего используются для работы КА. Это НОО, геостационарная орбита, солнечно-синхронные орбиты и так называемые «полусуточные орбиты», на которые выводятся спутники глобальных систем навигации (GPS, ГЛОНАСС и др.).

Количество фрагментов КМ растет со временем. Причем время существования отдельного фрагмента КМ в первую очередь зависит от его удаления от Земли, т.е. от высоты орбиты фрагмента в перигее. Чем больше эта высота, тем дольше живет фрагмент. Фрагменты на орбитах высотой до 800 км постепенно приближаются к Земле и сгорают в ее атмосфере; этот процесс занимает от нескольких месяцев до десятков лет. Космический мусор на более высоких орбитах может существовать сотни и тысячи лет.



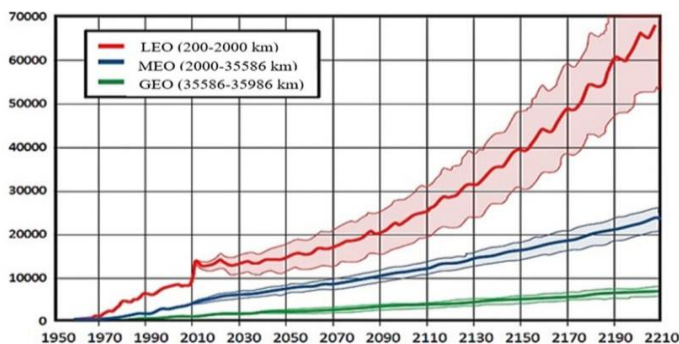
**Рисунок 1.** Количество фрагментов КМ в зависимости от их размера, степень опасности и возможности обнаружения.

Рост количества КМ за весь период космической деятельности человечества показан на рисунке 2, [11, 12] с указанием причины резкого увеличения количества КМ.



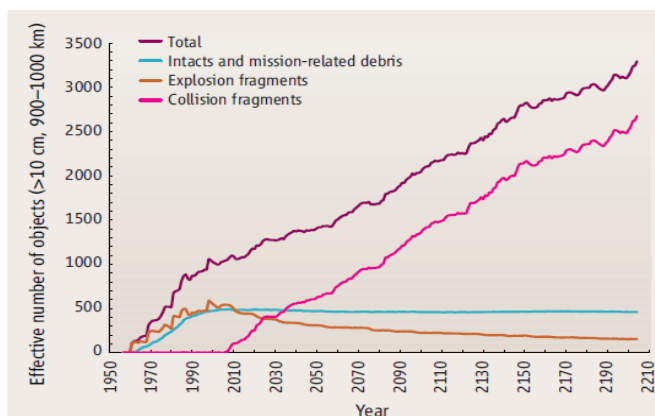
**Рисунок 2.** Рост количества фрагментов КМ различной природы.

Еще более важен прогноз роста количества КМ. Такой прогноз на 200 лет вперед представлен на рисунке 3, на котором приведен рост количества фрагментов КМ на различных околоземных орбитах [13]. Этот прогноз сделан в предположении, что каскадный эффект (синдром Кesslerа), не наступает.



**Рисунок 3.** Прогноз роста количества фрагментов КМ на низких, промежуточных и геостационарных орбитах на ближайшие 200 лет.

Возникновение каскадного эффекта заметно меняет эволюцию КМ. На рисунке 4 приведены результаты моделирования эволюции КМ, сделанного при следующих предположениях [14, 15]. Предполагалось, что запуски в космос прекратились, т.е. новые источники КМ больше не появляются. Моделировался процесс взаимного столкновения фрагментов КМ, подсчитывалось изменение количества фрагментов КМ размером больше 10 см. на высотах от 900 до 1000 км. Моделирование эволюции КМ велось с помощью кода LEGEND.



**Рисунок 4.** Рост числа фрагментов КМ из-за каскадного эффекта при прекращении запусков в космос.

Для предотвращения аварий, вызванных столкновениями КА с фрагментами КМ необходимо знать движение всех фрагментов размерами больше, по крайней мере, 3 см. Сегодня таких фрагментов несколько сот тысяч, в будущем их количество, скорее всего, возрастет. Отслеживание такого количества объектов – очень большая нагрузка на неземную инфраструктуру. При этом наземную радиолокационную и оптическую аппаратуру необходимо доработать, чтобы она могла регистрировать мелкие фрагменты.

### 3. Выводы

Количество зарегистрированного КМ будет возрастать, но особенно резкий рост будет иметь место, когда начнут регистрировать более мелкие фрагменты КМ. Можно ожидать увеличения количества известных потенциально опасных объектов на порядок, а без ограничения размеров снизу – на несколько порядков. Всё это накладывает

огромную нагрузку на наземные пункты навигационного обеспечения, которые и так предельно загружены. Расширение сети пунктов навигационного обеспечения и повышение их производительности решает эту проблему только частично. Единственным типом объектов, к которым можно применять не только наземные методы определения положений, являются активно функционирующие КА. Из всего сказанного выше следует вывод, что для КА крайне актуален переход к автономным методам навигации.

### **Благодарности**

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России по теме «Разработка новых методов автономной навигации космических аппаратов в космическом пространстве» 121102600068-5.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме № 0555-2021-0005.

### **Список литературы**

1. Мануйлов, С. А. Космический мусор - угроза безопасности космических полетов / С. А. Мануйлов // Проблемы безопасности полетов. – 2021. – № 9. – С. 35-53.
2. Мустафа, Б. А. Удаление космического мусора с геостационарной орбиты / Б. А. Мустафа, А. М. Искендинова, Г. А. Ануар, Д. С. Ергалиев, О. К. Абдирашев // Труды международного симпозиума "Надежность и качество". – 2021. – № 2. – С. 115-118.
3. Истомин, М. В. Экология космоса / М. В. Истомин, Ю. С. Щербаков // В сборнике: Инновации и научно-техническое творчество молодежи. Материалы Российской научно-технической конференции. Новосибирск. – 2020. – С. 19-24.
4. Жуков, А. О. Перспективы повышения измерительной информации для определения параметров орбиты космических аппаратов / А. О. Жуков, И. Н. Карцан // В сборнике: Решетневские чтения. Материалы XXIII Международной научно-практической конференции, посвященной памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М.Ф. Решетнева. В 2-х частях. Под редакцией Ю.Ю. Логинова. – 2019. – С. 300-302.
5. Баранов, А.А., Методика выявления и оценки сближений космического аппарата с объектами космического мусора / А. А. Баранов, М. О. Каратунов // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2016. – № 4(52). – С. 3.



6. Олейников, И. И. Способ построения расширенного каталога космических объектов размерами более 1 см на основе базы данных АСПОС ОКП / И. И. Олейников, М. В. Астраханцев // Решетневские чтения. – 2013. – Т. 1. – С. 37-39.
7. Kartsan, I. N. Applying filtering for determining the angular orientation of spinning objects during interference / I. N. Kartsan, A. E. Goncharov, P. V. Zelenkov, I. V. Kovalev, Y. L. Fateev, V. N., Tyapkin, D. D. Dmitriev // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – С. 012020.
8. Назаренко, А. И. Моделирование космического мусора / А. И. Назаренко. – Москва: ИКИ РАН, 2013. – 216 с.
9. Вениаминов, С. С. Космический мусор — угроза человечеству / С. С. Вениаминов, А. Червонов. – Москва: ИКИ РАН, 2012. – 192 с.
10. Вениаминов, С. Космический мусор — угроза человечеству. 2-е изд., исправл. и доп. / С. Вениаминов. – Москва: ИКИ РАН, 2013. – 207 с.
11. Шустов, Б. М. О фундаментальных исследованиях по проблеме космического мусора / Б. М. Шустов // В сборнике: Космический мусор: фундаментальные и практические аспекты угрозы. Сер. "Механика, управление и информатика" Под редакцией Л. М. Зеленого, Б. М. Шустова. – 2019. – С. 7-14.
12. Карцан, И. Н. Эффективность радионавигационных систем / И. Н. Карцан, К. Г. Охоткин, Р. В. Карцан, Д. Н. Пахоруков // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева. – 2013. – № 3(49). – С. 48-50.
13. Abramova, E. N. Small spacecraft's inflatable aerodynamic decelerator design issues analysis / E. N. Abramova, S. V. Reznik // AIP Conference Proceedings 2171. – 2019. – С. 040002.
14. Liou, J.-C. Risks in space from orbital debris / J.-C. Liou, N. Johnson // Science. – 2006. – № 311. – P. 340-341.
15. Жукова, Е. С. Область применения космической навигации / Е. С. Жукова, С. В. Литошик, В. И. Колесник, И. Н. Карцан // Решетневские чтения. – 2010. – № 1. – С. 146-148.