

Научная статья
УДК 629.78

Современное состояние разработок в области космического мониторинга и слежения Европейских государств

Владимир Михайлович Григорошенко, Игорь Игоревич Олейников,
Олег Борисович Ачасов, Роман Геннадьевич Галич

Аннотация. В статье рассматриваются возможности системы Space Surveillance and Tracking Европейского союза, обеспечивающей мониторинг орбиты, прогноз повторного входа объектов и анализ фрагментации. Оценены преимущества гибкой настройки порогов риска, интеграции с порталами и API, а также ограничения, связанные с точностью данных и моделями прогнозирования. Работа демонстрирует, что комплексное наблюдение и анализ событий на орбите существенно повышают безопасность космических операций и требуют дальнейшего развития систем мониторинга для защиты граждан, инфраструктуры и устойчивого использования околоземного пространства.

Ключевые слова: космический мониторинг; предотвращение столкновений; анализ повторного входа; анализ фрагментации; орбитальная безопасность; прогнозирование траекторий; риск столкновений

Для цитирования: Григорошенко В.М., Олейников И.И., Ачасов О.Б., Галич Р.Г. Современное состояние разработок в области космического мониторинга и слежения Европейских государств // Вооружение и экономика. 2026. №3(77). С. 12-21.

Original article

Current state of developments in the field of space monitoring and tracking of European countries

Vladimir M. Grigoroshenko, Igor I. Oleinikov, Oleg B. Achasov, Roman G. Galich

Abstract. This article examines the capabilities of the European Union's Space Surveillance and Tracking system, which provides orbital monitoring, re-entry prediction, and fragmentation analysis. The advantages of flexible risk threshold settings, integration with portals and APIs, and limitations related to data accuracy and forecasting models are assessed. The study demonstrates that comprehensive observation and analysis of orbital events significantly improves the safety of space operations and requires further development of monitoring systems to protect citizens, infrastructure, and the sustainable use of near-earth space.

Keywords: Space Surveillance and Tracking; collision avoidance; re-entry analysis; fragmentation analysis; orbital safety; trajectory prediction; collision risk

For citation: Grigoroshenko V.M., Oleinikov I.I., Achasov O.B., Galich R.G. Current state of developments in the field of space monitoring and tracking of European countries. Vooruzhenie i ekonomika = Armament and Economics. 2026; 77(3): 12-21. (In Russ.).

Введение

Современный этап развития космической деятельности характеризуется качественным усложнением околоземного космического пространства, обусловленным интенсивным ростом числа искусственных объектов, расширением круга участников космической деятельности и массовым развёртыванием многоспутниковых орбитальных группировок. Наиболее выраженные изменения наблюдаются на низких околоземных орбитах, где сосредоточено основное количество действующих космических аппаратов, включая аппараты связи, дистанционного зондирования и навигационного назначения. Одновременно возрастает доля малых космических аппаратов с ограниченным жизненным циклом, что приводит к увеличению частоты запусков и обновления орбитальных конфигураций.

Указанные процессы сопровождаются нарастанием рисков, связанных с повышенной вероятностью столкновений, образованием фрагментов космического мусора и усложнением прогнозирования орбитального движения [1]. В этих условиях мониторинг и слежение за космическим пространством перестаёт рассматриваться исключительно как задача обнаружения и каталогизации космических объектов. На современном этапе он

приобретает характер комплексного информационно-аналитического процесса, включающего сбор и интеграцию данных наблюдений, прогнозирование орбитальных событий, оценку рисков и поддержку принятия решений в интересах обеспечения безопасности и устойчивости космической деятельности.

Зарубежные государства в ответ на усложнение орбитальной среды реализуют космический мониторинг и слежение, который является частью компонента «Осведомленности о космической обстановке» (SSA) космической программы ЕС, принятой Европейским союзом в 2021 году с Регламентом (ЕС) 2021/696 Европейского парламента и Совета. Характерной особенностью данного процесса является формирование наднациональных и распределённых архитектур, обеспечивающих интеграцию национальных средств наблюдения и предоставление прикладных сервисов пользователям¹.

Обеспечение безопасности и устойчивости космической деятельности

В современных реалиях космос становится всё более насыщенным: появляются новые и разнообразные участники, развиваются крупные группировки спутников, а также увеличивается количество малых космических аппаратов. По оценкам, в настоящее время вокруг Земли вращается более 1 млн объектов, размер которых превышает 1 см. Быстроменяющаяся обстановка создаёт множество возможностей, но вместе с тем несёт в себе беспрецедентный риск столкновений и потенциальные угрозы, обусловленные двойственным характером космической деятельности.



Рисунок 1 – Иллюстрация космического мусора

Безопасность экономик, обществ и граждан Европы зависит от космических систем, таких как связь, навигация и наблюдение. Однако из-за растущей сложности орбитальной среды космические объекты все чаще подвергаются риску столкновения с другими действующими космическими аппаратами или мусором. В то же время объекты могут вновь войти в атмосферу и нанести ущерб на земле. Для снижения этих рисков нам необходимо иметь возможность обнаруживать и отслеживать такие объекты, а также предоставлять эту информацию различным заинтересованным сторонам.

Для решения вопроса космического мониторинга и слежения Европейским союзом предусматривается создание партнерства Space Surveillance and Tracking (SST), которое является международной или межведомственной инициативой, объединяющей технические средства и базы данных обнаружения, каталогизации и отслеживания искусственных объектов на околоземной орбите. После подписания соглашения о партнерстве SST в состав вошли национальные учреждения, представляющие 15 государств-членов Европейского союза (ЕС), через свои национальные структуры: Австрия (FFG), Чехия (MDCR), Дания

¹ Borowitz M., Pérez Hernández C., Hejduk M., Gillet A., Moury M., Faucher P. Technical Comparison of the Public SSA Services in the United States and the European Union // OSC, NOAA, U.S. Department of Commerce; EU SST. 2024. 18 Sep. URL: <https://www.space.commerce.gov/wp-content/uploads/2024-09-EUSST-TraCSS-comparison.pdf>; EU Space Surveillance and Tracking (EU SST). URL: <https://www.eusst.eu>

(DALO), Финляндия (FMI), Франция (CNES), Германия (Немецкое космическое агентство в DLR), Греция (NOA), Италия (ASI), Латвия (IZM), Нидерланды (EZ), Польша (POLSA), Португалия (PT MoD), Румыния (ROSA), Испания (AEE) и Швеция (SNSA)².

Система SST представляет собой сеть наземных и космических средств, способных осуществлять наблюдение и отслеживание космических объектов, а также средства обработки данных, предназначенные для предоставления данных, информации и услуг о космических объектах, вращающихся вокруг Земли [2]. Сервисы системы SST оценивают риск столкновений на орбите и неконтролируемого возвращения космического мусора в атмосферу Земли, а также обнаруживают и характеризуют фрагменты на орбите.

К основным возможностям системы SST относятся 3 компонента: наблюдательные средства, обработка данных и предоставление услуг [3]. Средства наблюдения государств-членов «Механизма поддержки космического наблюдения и слежения» (EU SST), который разрабатывает и запускает операционную систему для предоставления общедоступных услуг сервисов по предотвращению столкновений (collision avoidance), оценки возврата в атмосферу (re-entry analys) и анализу фрагментации (fragmentation analys), работавшую в режиме 24/7. Представленные данные анализируются в рамках функции обработки и поступают в общую базу данных и в конечном итоге в каталог; на этой основе создаются продукты для трех служб, которые генерируются операционными центрами и предоставляются пользователям через портал предоставления услуг SST (SST Portal).

По состоянию на апрель 2025 года для работы на EU SST привлекается более 60 средств наблюдения. Средства располагаются как в континентальной Европе, так и в других частях света (рисунок 3). Члены EU SST, владеющие этими ресурсами, предоставляют результаты наблюдений на регулярной основе или по запросу, в зависимости от типа средства.



Рисунок 2 – Кооперация SST

² EU Space Surveillance and Tracking. Facts and figures // SST Cooperation. 2025. URL: https://www.eusst.eu/sites/default/files/documents/SST_Factsheet_v2.pdf

Услуги SST предоставляются по запросу всем государствам-членам ЕС, учреждениям ЕС, владельцам и операторам космических аппаратов, а также другим государственным и частным организациям. Оказание данных услуг осуществляется за счет реализации системой EU SST трех основных сервисов, предоставленных на схеме взаимодействия (рисунок 4).

Начнём с рассмотрения основных особенностей сервиса предотвращения столкновения (CA), который обеспечивает оценку риска столкновений между космическими аппаратами, а также между космическими аппаратами и космическим мусором, и генерирует предупреждения о столкновениях. Услуги сервиса предоставляются по всему миру и круглосуточно с целью обнаружения:

1. Информационных событий (INFO): сближений с низким уровнем риска.
2. Интересных событий (IEs): близких сближений, требующих дальнейшего анализа в связи с уровнем риска.
3. Событий, представляющих высокий интерес (HIEs): близких сближений с высоким уровнем риска, потенциально требующих выполнения маневров по предотвращению столкновений (CAMs) со стороны владельца/оператора.

Сервис CA – это настраиваемый пользователем сервис, который позволяет пользователю настраивать пороговые значения для классификации уровней риска (т.е. HIE, IE и INFO) и получать рекомендации по CAM-системам (Computer-Aided Manufacturing) на основе геометрических, вероятностных и временных переменных. Услуга CA предоставляется по схеме горячего резервирования с участием французского и испанского операционных центров (ОЦ) (FR-SSA и S3TOC), при которой два разных центра готовы предоставлять услуги в качестве единого поставщика услуг (рисунок 5).

Сервис CA предоставляет три типа продуктов: сообщение о сближениях CDM (Conjunction Data Message), отчёты, связанные с каждым CDM, и ежемесячные отчёты. Предоставление услуги сервиса CA пользователям и номинальным оперативным центром осуществляется через Портал системы SST и позволяет пользователям:

1. Получать доступ к событиям CA и информации о продуктах обслуживания или загружать их через REST API (интерфейс, основанный на архитектурном стиле REST, который позволяет программам обмениваться данными через Интернет с помощью стандартных HTTP-методов), или веб-интерфейс.
2. Загружать эфемериды и информацию о маневрах (или файлы любого другого типа) через REST API или веб-интерфейс.
3. Просматривать эволюцию сближений (например, точку пересечения, масштабированную точку пересечения, расстояния до сближения).
4. Загружать соответствующий документ с конфигурацией службы CA и управлять новыми версиями.
5. Настраивать конфигурацию службы CA для отправки уведомлений по электронной почте.



ОЦ Франции (FR-SSA)



ОЦ EUSPA SST

Рисунок 5 – Общий вид операционных центров SST

Тем самым данный сервис обеспечивает непрерывный глобальный мониторинг сближений объектов на орбите, позволяя заблаговременно оценивать риски и планировать маневры. Его гибкая настройка порогов риска и доступ через портал или API повышают оперативность и индивидуализацию управления, а горячее резервирование обеспечивает надежность. Однако эффективность ограничена точностью исходных данных о траекториях и потенциальной задержкой анализа сложных сближений, что может снизить своевременность рекомендаций при высоких скоростях движения объектов [4]. Сервис СА значительно повышает безопасность орбитальных операций, но требует постоянного совершенствования моделей прогнозирования.

Далее рассмотрим сервис анализа повторного входа (RE), который занимается оценкой рисков, связанных с неконтролируемым возвращением космических объектов в атмосферу Земли. Такие объекты могут представлять угрозу для безопасности граждан ЕС и наземной инфраструктуре. Для анализа используются все доступные данные (информация от средств наблюдения, входящих в систему SST EU, а также другие сведения о повторном входе из внешних источников). На основе этих данных составляются долгосрочные (до 30 дней) и краткосрочные (на несколько дней) прогнозы повторного входа.

Основные функции сервиса выполняет Итальянский операционный центр (C-SSA), регулярно отслеживающий все корпуса ракет, интересующие объекты и объекты массой более 2000 кг. Когда такие объекты приближаются к атмосфере, C-SSA отправляет запросы всем средствам наблюдения системы EU SST для получения дополнительных данных и повышения точности прогнозов. При возможности генерируются автономные отчеты.

Сервис настраивается таким образом, чтобы пользователи могли выбирать интересующие их области (AOI) в виде стран ЕС и прилегающих к ним территорий и получать соответствующие продукты для зоны входа в атмосферу. Учитывая неопределенность, связанную с прогнозированием возвращения в атмосферу, зона поражения определяется на основе анализа пролёта без какой-либо уверенности в том, что возвращающиеся объекты поразят указанную территорию.

Предоставление услуги RE между авторизованными пользователями и операционным центром осуществляется через Портал системы SST (рисунок 6), который позволяет пользователям:

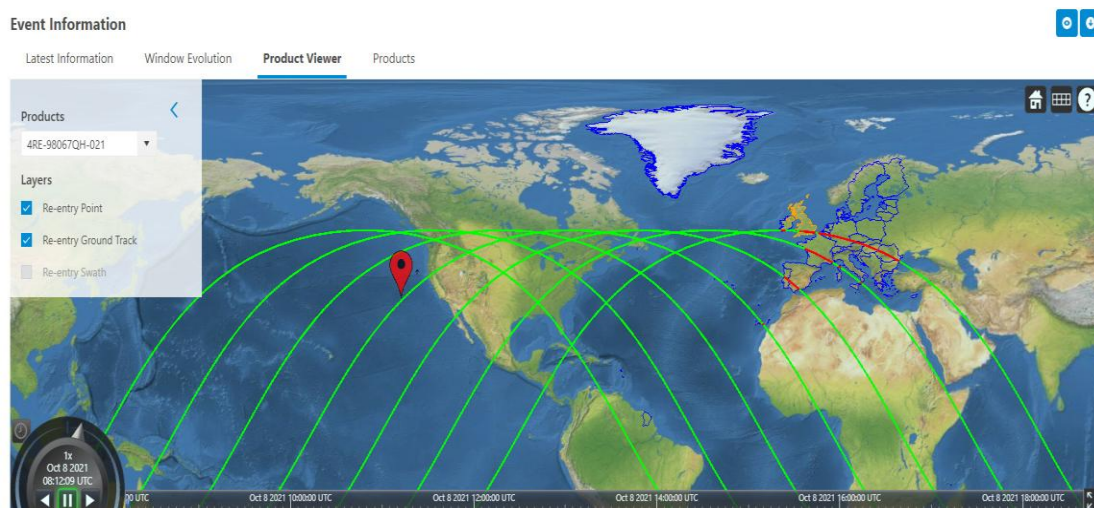


Рисунок 6 – Программа просмотра продукции сервиса RE

1. Получать доступ к информации о продуктах RE или загружать отчеты RE через REST API или веб-интерфейс.
2. Настраивать список повторных обращений за 30 дней или конфигурацию уведомлений по электронной почте для отчетов RE, включая индекс риска.

3. Просматривать прогноз изменения окна повторного входа для конкретного космического объекта.

4. Настраивать области интереса пользователя.

5. Получать доступ к статистическим отчётам пользователей сервиса RE.

Тем самым данный сервис повышает безопасность граждан и инфраструктуры ЕС, обеспечивая прогнозы неконтролируемого возвращения космических объектов на срок до 30 дней. Использование данных SST и внешних источников позволяет улучшать точность прогнозов, а настройка зон интереса и интеграция с порталом и API повышают оперативность и персонализацию информации. Ограничением остаётся неопределённость траекторий и зон поражения, что снижает гарантии предсказаний при сложных сценариях. Тем не менее сервис RE существенно укрепляет стратегию защиты от космических угроз и поддерживает информированное принятие решений по рискам повторного входа.

В заключение рассмотрим возможности сервиса анализа фрагментации (FG) обеспечивающего обнаружение и определение характеристик фрагментации на орбите. Вся доступная информация (данные от средств наблюдения, участвующих в системе отслеживания состояния спутников Европейского союза, и другая информация о фрагментации из внешних источников) подвергается краткосрочному, среднесрочному и долгосрочному анализу, по результатам которого предоставляются различные продукты FG.

Основными функциями сервиса является предоставление краткосрочных, среднесрочных и долгосрочных анализов.

Краткосрочный анализ FG направлен на быстрое подтверждение события фрагментации и предоставляет:

1. Источники данных (от датчиков, участвующих в программе EU SST, и/или из внешних источников).

2. Характеристика события фрагментации (например, тип события фрагментации), количество обнаруженных фрагментов, орбитальный режим.

3. Идентификация и характеристика объекта (объектов) (например, тип объекта, апогей/перигей родительского объекта (объектов) во время события).

Среднесрочный анализ FG предоставляет более подробную информацию о событии на основе орбитальных параметров зарегистрированных фрагментов и включает:

1. Распределение фрагментов, представленное в виде визуальной информации (например, диаграмма Габбарда).

2. 3D-график положения объекта (объектов) в момент события.

3. 3D-эволюция облака фрагментов на момент создания отчета и через 1-2 месяца.

4. Дисперсия орбитальных параметров фрагментов в разные моменты времени.

5. Анализ риска раннего столкновения для определенных высотных слоев, включая интересующие объекты (например, группировки Galileo и Copernicus).

Долгосрочный анализ FG проводится на основе информации, доступной для каждого события FG, и дополняет предыдущие исследования следующей информацией:

1. Обновлении данных о событии.

2. Моделировании события с использованием адекватной модели распада/столкновения.

3. Количестве фрагментов размером более 7 см.

4. Распределении соотношения площади и массы.

5. Распределении дельта-скорости.

6. Эволюции пространственной плотности объектов.

Предоставление услуги FG осуществляется между авторизованными пользователями и операционным Порталом системы SST (рисунок 7) и с его помощью пользователи могут получить:

1. Просматривать информацию о продуктах сервиса FG или загружать их через REST API, либо веб-интерфейс.

2. Получать электронные уведомления о выходе новых или обновлённых продуктов FG.

3. Знакомиться со статистическими отчётами по пользователям сервиса FG.

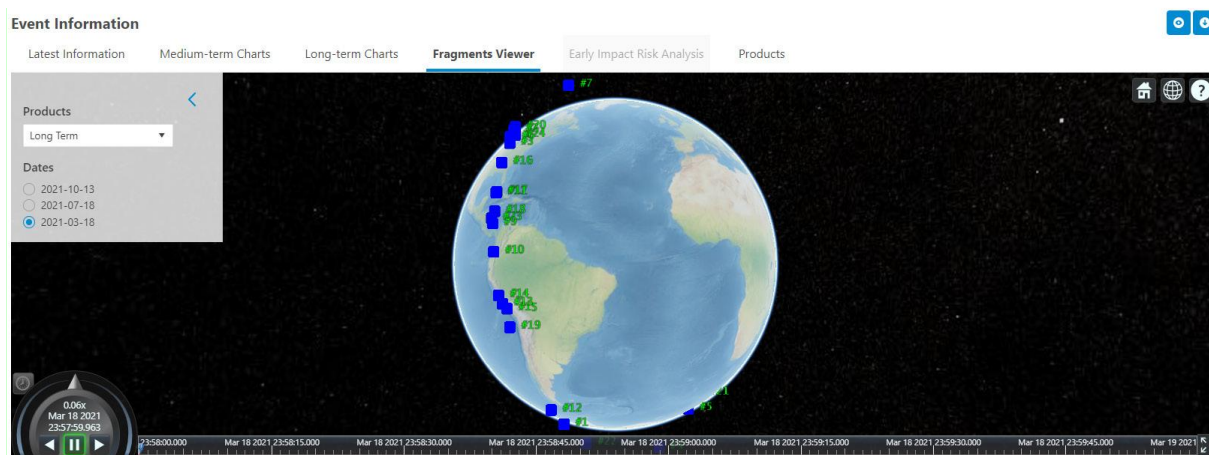


Рисунок 7 – Средство просмотра фрагментов услуги FG на портале SST

Тем самым данный сервис обеспечивает комплексное наблюдение и оценку событий разрушения объектов на орбите, позволяя быстро подтверждать фрагментацию, моделировать распределение обломков и прогнозировать риски столкновений [5]. Многоуровневый подход – краткосрочный, среднесрочный и долгосрочный анализ – повышает точность и информативность оценок, включая 3D-визуализацию и эволюцию облака фрагментов. Ограничениями остаются зависимость от качества исходных данных и неопределённость моделей распада объектов. Тем не менее сервис FG существенно усиливает возможности прогнозирования орбитальной опасности и поддержки безопасной эксплуатации группировок спутников.

НИОКР SU SST

Для обеспечения устойчивого долгосрочного развития и совершенствования системы наблюдения и слежения за космическими объектами ЕС в рамках сотрудничества SST разработан план НИОКР до 2028 года, включающий комплекс мероприятий по разработке аппаратного и программного обеспечения. Выбор объектов разработки и результатов, подлежащих доведению до стадии предэксплуатации, осуществляется на основе архитектурных исследований и проектирования системы. Этот процесс позволяет EU SST оценивать и выбирать виды деятельности, обеспечивающие наивысшее качество и добавленную стоимость, а также предлагать экономически эффективные услуги по наблюдению и слежению за космическими объектами, прогнозируя потребности и готовясь к будущему.

Для реализации плана ЕС по НИОКР члены Партнерства SU SST координируют исследовательскую деятельность в рамках программы ЕС по научным исследованиям и разработкам в соответствии с национальными программами НИОКР, но и активно привлекают промышленность, академические круги и стартапы к развитию исследовательской деятельности, при этом около 80% инвестиций распределяется по субподрядам.

Основными направлениями НИОКР-проектов по плану до 2028 года являются:

1. Функциональные действия средств наблюдения (использование существующих технологий или разработка новых, применимых к средствам):

- использование телескопов совместно с РЛС для каталогизации объектов в орбитальном режиме на высоких орбитах и совместно с лазерами для наблюдения за объектами на всех орбитах;

- применение методов искусственного интеллекта и глубокого обучения для улучшенного обнаружения и оценки характеристик находящихся в космосе объектов.

2. Применение методов искусственного интеллекта и глубокого обучения для улучшенного обнаружения и оценки характеристик находящихся в космосе объектов.

3. Использование пассивных радиочастотных средств для улучшения знаний и характеристик маневрирующих объектов на всех орбитах.

4. Эксплуатация космических систем наблюдения в дополнение к наземным.
 5. Создание инновационного планировщика для всей сети сенсоров SU SST.
 6. Деятельность по обработке данных (разработка новых подходов к алгоритмам обработки данных для совершенствования каталогизационной деятельности и услуг):
 - совершенствование методов обнаружения маневров и улучшения корреляции и определения орбиты;
 - создание единого европейского каталога орбитальных параметров объектов;
 - разработка методов определения орбиты (в частности, для первоначального определения орбиты), позволяющих объединять радиолокационные и оптические измерения данных;
 - разработка алгоритмов для улучшения количественной оценки и распространения неопределенностей для каталогизации и предоставления услуг SST;
 - разработка методов обнаружения столкновений и расчета вероятности столкновения спутников, движущихся с малыми относительными скоростями (например, созвездий).
 7. Деятельность по предоставлению услуг (анализ потенциальных новых услуг SST для улучшения и дополнения текущего портфеля услуг):
 - повышение автономности спутников для прогнозирования и реагирования на риск столкновения;
 - новые услуги по обеспечению безопасности полетов, такие как радиочастотные помехи, поддержка запуска, ранний этап вывода на орбиту и операции по завершении срока службы;
 - поддержка при непредвиденных обстоятельствах и аномалиях на орбите;
 - поддержка активного удаления мусора и операций по сближению на орбите;
 - коммуникационная и координационная платформа для космических операторов.
- Перечисленные мероприятия направлены на достижение надлежащего уровня автономии в области космического наблюдения и слежения и позволят консолидировать EU SST в качестве европейского потенциала координации космического движения.

Заключение

Анализ работы сервисов SST показывает, что комплексное наблюдение и оценка рисков на орбите существенно повышают безопасность космических операций. Сервис предотвращения столкновений (CA) обеспечивает глобальный мониторинг сближений, позволяя прогнозировать потенциальные маневры и снижать вероятность инцидентов. Сервис анализа повторного входа (RE) позволяет заблаговременно оценивать угрозу неконтролируемого возвращения объектов в атмосферу, повышая безопасность граждан и инфраструктуры. Сервис анализа фрагментации (FG) обеспечивает детальное моделирование событий разрушения, позволяя отслеживать облака обломков и прогнозировать риски столкновений.

Эффективность данных сервисов определяется точностью исходных данных, качеством моделей прогнозирования и интеграцией с инструментами пользователей. Их гибкая настройка, доступ через порталы и API, а также возможность горячего резервирования обеспечивают надёжность и оперативность предоставления информации. Одновременно остаются ограничения, связанные с неопределённостью траекторий и характеристик объектов, что требует постоянного совершенствования аналитических моделей и расширения сети наблюдений.

Применение и дальнейшее развитие систем космического мониторинга и слежения, подобных SST, является ключевым фактором обеспечения устойчивой эксплуатации орбитальных группировок. Расширение сети наблюдений, совершенствование алгоритмов прогнозирования и интеграция с международными партнёрствами позволит минимизировать риски для инфраструктуры, повысить информированность операторов и укрепить безопасность космического пространства в условиях роста числа участников и усложнения орбитальной среды.

Список источников

1. Миронов В.В., Усовик И.В. Ретроспектива проблемы космического мусора. Часть 1. Техногенное засорение космического пространства и средства его контроля // Космические исследования. 2020. Т.58. №2. С. 117-130. doi:10.31857/S0023420620020089.
2. Усовик И.В., Морозов А.А. Разработка системы мониторинга некаталогизируемого космического мусора // Вестник Московского авиационного института. 2023. Т.30. №4. С. 202-209.
3. Faucher P., Peldszus R., Gravier A. Operational space surveillance and tracking in Europe // Journal of Space Safety Engineering. 2020. Vol.7. Iss.3. P. 420-425. doi:10.1016/j.jsse.2020.07.005.
4. Каратунов М.О., Баранов А.А., Голиков А.Р. Оценка вероятности столкновения околоземных космических объектов с учетом формы и ориентации // Космические исследования. 2021. Т.59. №5. С. 385-392. doi:10.31857/S002342062105006X.
5. Ипатов А.В., Ведешин Л.А., Герасютин С.А. Мониторинг космического мусора и перспективы освоения околоземного космического пространства // Земля и Вселенная. 2024. №2. С. 91-108. doi:10.7868/S0044394824020063.

Информация об авторах

В.М. Григорошенко – кандидат технических наук, старший научный сотрудник.
И.И. Олейников – доктор технических наук, старший научный сотрудник.
О.Б. Ачасов – кандидат технических наук, доцент.
Р.Г. Галич – кандидат технических наук.