

УДК 520

ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА: МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ И ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ

Нина Пискунова

Студент 4 курса

Кафедра «Космические аппараты и ракеты-носители»

Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Т.И. Маслова,

старший преподаватель кафедры "Инженерная графика"

Целью данной работы является разработка и анализ методов измерения параметров космического мусора с учетом метрологических аспектов и обеспечения взаимозаменяемости данных. Работа направлена на повышение точности и надежности измерений, а также на создание единых стандартов для мониторинга космического мусора, что позволит улучшить управление космическим пространством и обеспечить безопасность космических миссий. Для достижения поставленной цели необходимо выполнить несколько задач: проанализировать существующие методы измерения космического мусора, что включает в себя изучение оптических, радиолокационных и индикаторных технологий для обнаружения и измерения параметров космического мусора; оценка преимуществ и недостатков каждого метода с точки зрения точности, калибровки и взаимозаменяемости данных; исследовать метрологические аспекты измерения космического мусора, т.е. проанализировать факторы, влияющих на точность измерений, таких как калибровка оборудования, условия наблюдения и методы обработки данных и разработать рекомендаций по повышению точности измерений и минимизации погрешностей.

«Под космическим мусором (КМ) обычно подразумевают все неиспользуемые искусственные объекты, в основном в околоземном космическом пространстве (ОКП). К ним относятся вышедшие из строя спутники, отработавшие ступени ракет, а также фрагменты, образующиеся при их распаде и столкновениях» [1]. Космический мусор представляет собой серьезную угрозу для действующих спутников и космических аппаратов. «По оценкам экспертов, на околоземной орбите находится более 34 000 объектов размером более 10 см, и миллионы более мелких фрагментов (от 1 мм до 1 см)» [2]. Для обеспечения безопасности космических миссий необходимо точно измерять параметры космического мусора, такие как размер, скорость, траектория и состав. Однако эта задача осложняется отсутствием единых стандартов измерения и взаимозаменяемости данных.

Метрология, как наука об измерениях, играет ключевую роль в решении этих проблем. Точность измерений, калибровка оборудования и взаимозаменяемость данных являются основными аспектами, которые необходимо учитывать при разработке методов мониторинга космического мусора.

Разработка единых алгоритмов обработки данных, полученных от различных систем (оптических, радиолокационных, индикаторных), требует интеграции данных из разных источников и применения методов, которые минимизируют погрешности и повышают точность измерений. Для этого можно использовать методы фильтрации данных, статистического анализа и машинного обучения.

Оптические методы основаны на использовании телескопов для обнаружения и отслеживания космического мусора. Эти системы регистрируют отраженный

солнечный свет от объектов на орбите. Их преимущества заключаются в том, что они могут обнаруживать объекты с высокой точностью, особенно на высоких орбитах (например, геостационарных); могут одновременно наблюдать за большими участками околоземного пространства и, по сравнению с радиолокационными системами, оптические телескопы относительно дешевы в эксплуатации. В качестве недостатков могут быть ограниченность в обнаружении мелких объектов, так как оптические системы плохо справляются с обнаружением объектов размером менее 10 см, и объекты должны быть освещены Солнцем, что ограничивает время наблюдения. Примером таких систем является Российский оптико-электронный комплекс (ОЭК ОКМ), который обнаруживает объекты на высотах от 120 км до 40 000 км [1].

Радиолокационные системы используют радиоволны для обнаружения и отслеживания космического мусора. Радар излучает сигнал, который отражается от объекта и возвращается к приемнику. Радары могут работать в любое время суток и при любых погодных условиях. Они способны обнаруживать объекты размером от нескольких миллиметров и могут точно измерять скорость и траекторию объектов. С другой стороны, радиолокационные данные требуют сложной обработки для устранения шумов и интерференции, а также значительных затрат на установку и эксплуатацию.

Индикаторные методы основаны на использовании специальных датчиков, которые регистрируют столкновения с частицами космического мусора. Эти датчики могут быть установлены на спутниках или космических станциях. Они могут регистрировать микрочастицы размером от 100 мкм, а датчики предоставляют прямые данные о размере, скорости и составе частиц и могут быть установлены на небольших спутниках или космических аппаратах. Но эти индикаторы могут измерять только частицы, которые непосредственно сталкиваются с датчиком и не могут обнаруживать объекты размером более нескольких миллиметров.

В данной работе был проанализирован алгоритм - пример кода на Python для минимизации погрешности измерений, а результат этого кода представлен на рис. 1.



Рис.1 Результат кода для минимизации погрешности

Этот алгоритм основан на использовании фильтра Калмана для обработки данных о положении объекта. Фильтр Калмана — это мощный инструмент для минимизации погрешностей в динамических системах [3]. Используется для оценки положения объекта на основе зашумленных измерений. Этот метод минимизирует погрешность, объединяя прогноз модели и измерения.

Таким образом, на основе вышеизложенных результатов можно сделать вывод о том, что разработка единых алгоритмов обработки данных требует интеграции методов фильтрации, статистического анализа и машинного обучения. Пример кода на Python демонстрирует, как можно минимизировать погрешности измерений с использованием фильтра Калмана. Эти методы могут быть адаптированы для обработки данных от оптических, радиолокационных и индикаторных систем, что позволит повысить точность мониторинга космического мусора. Это способствует обеспечению взаимозаменяемости компонентов и систем космических объектов. Результаты исследования подчеркивают важность разработки единых стандартов для эффективного мониторинга космического мусора и обеспечения безопасности космических миссий.

Литература

1. О российской станции обнаружения и измерения параметров движения космического мусора. [Электронный ресурс] // URL: <https://xn--80afol.online/rams/tpost/2a3acjdg41-o-rossiiskoi-stantsii-obnaruzheniya-i-iz> (дата обращения: 23.03.2025).
2. Мы не знаем, как летают спутники и космический мусор: это грозит катастрофой. [Электронный ресурс] // URL: <https://hightech.fm/2022/04/08/space-based-solar-power> (дата обращения: 23.03.2025).
3. Лемешко О.В. Фильтр Калмана. Теоретические основы и практическое применение // Вестник магистратуры. 2014. №6(33). Том 1, стр. 5. [Электронная версия] // URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/filtr-kalmana-teoreticheskie-osnovy-i-prakticheskoe-primeneniye/viewer> (дата обращения: 23.03.2025).