



Акционерное общество  
«Научно-инженерный центр Санкт-Петербургского  
электротехнического университета»

194021, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 22, лит. К, пом. 289

ОГРН 1047855001270, ИНН 7813300797, КПП 780201001, ОКПО 72491481

тел.: (812) 703-75-84

mail: [info@nicetu.spb.ru](mailto:info@nicetu.spb.ru)

тел./факс: (812) 703-75-83

<http://www.nicetu.spb.ru>

10.09.2024 № 2405/01

На № 604-10-397 от 29 июля 2024г

Ученому секретарю  
диссертационного совета 24.2.327.03,  
Старкову А.В.

125993, г. Москва, Волоколамское  
шоссе, д.4, МАИ, Отдел подготовки  
кадров высшей квалификации

*Направление отзыва на автореферат  
Усовика Игоря Вячеславовича*

**Уважаемый Александр Владимирович!**

Представляю Вам отзыв на автореферат Усовика Игоря Вячеславовича по теме «Разработка методов и алгоритмов моделирования потоков космического мусора и метеороидов для решения прикладных задач ограничения техногенного засорения околоземного космического пространства» представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика».

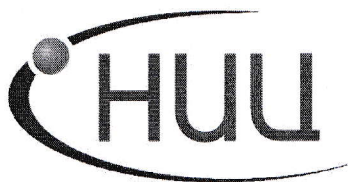
Приложение: 1. Отзыв на автореферат Усовика И.В., на 6 л. в 2 экз.;

*С уважением,*

Генеральный директор



А. А. Дыкало



Акционерное общество  
«Научно-инженерный центр Санкт-Петербургского  
электротехнического университета»

194021, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 22, лит. К, пом. 289

ОГРН 1047855001270, ИНН 7813300797, КПП 780201001, ОКПО 72491481

тел.: (812) 703-75-84

тел./факс: (812) 703-75-83

mail: [info@nicetu.spb.ru](mailto:info@nicetu.spb.ru)

<http://www.nicetu.spb.ru>

10.09.2024 № 2405/101

На № 604-10-397 от 29 июля 2024г

*Отзыв на автореферат диссертации  
Усовика Игоря Вячеславовича*

**Ученому секретарю  
диссертационного совета  
24.2.327.03,  
Старкову А.В.**

125993, г. Москва, Волоколамское  
шоссе, д.4, МАИ, Отдел подготовки  
кадров высшей квалификации.

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации

Усовика Игоря Вячеславовича

*«Разработка методов и алгоритмов моделирования*

*потоков космического мусора и метеороидов для решения прикладных задач*

*ограничения техногенного засорения околоземного космического пространства»*

представленной на соискание ученой степени доктора технических наук

по специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации,  
статистика»

Космический мусор (КМ) является негативным остаточным продуктом космической деятельности (КД) и представляет собой популяцию космических объектов техногенного происхождения, находящихся в околоземном космическом пространстве (ОКП) и потерявших свою целевую ценность. Вследствие огромного запаса кинетической энергии столкновение любого из этих объектов с действующим космическим аппаратом (КА) может повредить его или даже вывести из строя. Особенно опасно это событие для пилотируемых КА. Образование КМ неизбежно сопутствует реализации любого космического проекта, поскольку в каждом запуске



наряду с выводимыми КА на орбите остаются отработавшие верхние ступени ракет-носителей и разгонные блоки, потерявшие всякий смысл существования в космосе после выведения полезной нагрузки. В конечном итоге с течением времени и все запущенные КА выходят из строя и переходят в разряд объектов КМ.

Их взрывы или катастрофические столкновения с другими космическими объектами (КО) образуют большое количество фрагментов разрушения разного размера, представляющих собой, так называемые, облака (потоки) КМ. В настоящее время растущие масштабы КМ значительно осложняют дальнейшее освоение ОКП.

Принятие своевременных мер по противодействию возникающим угрозам, связанным с образованием большого количества КМ, вначале сконцентрированного в пределах достаточно ограниченных пространственных областей в районах рабочих орбит, вызывает необходимость иметь информацию о меняющихся со временем местоположении, формах и размерах образовавшихся облаков КМ, распределении в них объектов КМ и местах, где риск столкновений КА с КМ является наиболее высоким. Другими словами, для прогноза возможных опасных ситуаций, которые могут создавать облака КМ, необходимо иметь адекватное представление об их структуре и эволюции.

Для оценки степени засоренности ОКП используются соответствующие модели космического мусора. Модели КМ позволяют получать информацию о предполагаемом (вероятностном) распределении плотностей и скоростей объектов КМ в трёхмерном объёме в различных диапазонах высот и наклонений орбит КА. Постоянные изменения состояния техногенного засорения ОКП требует совершенствование моделей КМ и уточнение их параметров на основании новых экспериментальных данных и учета последних тенденций КД.

Следует отметить, что теоретические исследования по моделированию потоков КМ развиваются в направлениях применения либо детерминированного, либо стохастического подходов. Однако, как обоснованно указал автор работы, сегодня возник новый класс задач оценки и прогнозирования потоков КМ в условиях существенного изменения КД, для которых разработанные ранее методы и алгоритмы неприменимы.

Автором диссертации предлагается максимальное использование преимуществ обоих подходов для создания методических основ моделирования потоков КМ и метеороидов, решения новых задач, возникающих в связи с изменяющимися тенденциями осуществления КД, позволяющих проводить оценки характеристик плотностей потока частиц, влияния мер ограничения образования и активного удаления КМ на уровень техногенного засорения ОКП в долгосрочной перспективе, оценку влияния различных условий КД на состояние техногенного засорения и решения целого ряда других прикладных задач.

Указанные сведения позволяют сделать вывод о том, что *тема диссертационной работы Усовика И.В.*, посвященной решению проблемы информационного обеспечения безопасности осуществления космических операций в условиях воздействия космического мусора и метеороидов, направленной на обеспечение безопасности осуществления космических операций и долгосрочной устойчивости космической деятельности Российской Федерации является *актуальной*.

Работа связана с решением актуальной научной проблемы, которая имеет **важное научное и практическое значение**.

**Научная новизна** работы обусловлена тем, что в ней:

- 1) формализованы задачи системного анализа проблемы космического мусора и моделирования потоков космического мусора и метеороидов;
- 2) разработаны методы и алгоритмы расчета характеристик потока спорадических метеороидов в ОКП, отличающихся использованием нового метода учёта гравитационного эффекта, для формирования информационного обеспечения безопасности проведения космических операций при принятии решений на этапе проектировании космических аппаратов;
- 3) предложены методы и алгоритмы расчета характеристик потока КМ, основанных на условных статистических распределениях орбитальных параметров и характеристик, для формирования информационного обеспечения безопасности проведения космических операций при принятии решений на этапе проектировании космических аппаратов;



4) создан комплекс алгоритмов для прогнозирования техногенного засорения ОКП при реализации мер ограничения образования и активного удаления КМ, основанной на статистических методах и алгоритмах, а также отдельном моделировании групп объектов, для подготовки исходных данных при принятии управленческих решений в области технологий ограничения и снижения техногенного засорения ОКП.

**Практическая значимость диссертационной работы** состоит в следующем:

1) получены характеристики плотностей потока КМ в ОКП и для КА на различных орбитах при различных сценариях осуществления КД, задающие условия функционирования космических средств, на основании которых разработан и введён в действие государственный стандарт ГОСТ Р 25647.167 – 2022 «Модель пространственно-временного распределения плотности потоков техногенного вещества в космическом пространстве»;

2) разработана архитектура и реализация программно-алгоритмического обеспечения расчета текущих и прогнозируемых характеристик потока КМ и метеороидов которое используется в организациях, проектирующих космическую технику;

3) разработаны предложения по использованию оценок потоков КМ и метеороидов в прикладных задачах при проектировании средств выведения и космических аппаратов, а также для принятия управленческих решений по мерам и требованиям ограничения техногенного засорения ОКП на основе результатов долгосрочного прогнозирования потоков КМ.

**Достоверность основных результатов** подтверждается всесторонним анализом состояния исследований в предметной области, согласованностью теоретических выводов с результатами экспериментальной проверки полученных результатов исследований, использованием верифицированного математического аппарата, обоснованием результатов сравнительного анализа с аналогичными методиками и моделями. Результаты исследований опубликованы в более чем 40 печатных трудах Перечня ВАК Минобрнауки России, Перечня Scopus и

апробированы в 30 докладах на российских и международных научных и научно-практических конференциях.

Тем не менее, следует отметить ряд **замечаний**:

1. Среди прикладных задач оценки потоков КМ и метеороидов для различных космических миссий на различных этапах космического полета не рассмотрена актуальная задача оценки вероятности столкновения ракеты космического назначения на участке выведения разгонного блока на орбиты высотой более 800 км с объектом КМ.

2. В формуле (3) автореферата, по которой рассчитывается коэффициент  $K_v$ , не раскрыт смысл делителя  $V_{(end)}$ , а в сноске приводится только коэффициент гравитационного эффекта  $K_g$ , который в формулу явно не входит. Поэтому смысл коэффициента  $K_v$  становится неясным.

3. На странице 17 автореферата утверждается, что особенностью разработанных методов и алгоритмов является использование условных статистических распределений баллистических параметров КМ, однако, не достаточно полно представлено обоснование преимущества применения данных распределений.

Приведенные недостатки не снижают научный уровень представленного материала и не ставят под сомнение достоверности и значимости основных научных результатов, полученных автором диссертационной работы.

**Заключение.** Диссертационная работа Усовика И.В. на тему *«Разработка методов и алгоритмов моделирования потоков космического мусора и метеороидов для решения прикладных задач ограничения техногенного засорения околоземного космического пространства»* является самостоятельно выполненным, завершенным научно-квалификационным трудом, содержащим решение актуальной научной проблемы.

Работа *удовлетворяет требованиям* п.п. 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (в редакции Постановления Правительства Российской Федерации № 41 от 01.10.2018г. и № 426 от 20 марта 2021г.),»

предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, Усовик Игорь Вячеславович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика» согласно приказу Минобрнауки России от 24.02.2021 № 118.

Отзыв составил:

Ведущий специалист

доктор технических наук, доцент

Ю. В. Миронов

Главный конструктор проекта

доктор технических наук, доцент

Д. М. Хетчиков

Подписи Миронова Ю.В. и Хетчикова Д.М. заверяю.

Генеральный директор

А.А. Дыкало

