

АО «Концерн ВКО «Алмаз-Антей»



Публичное акционерное общество «Межгосударственная  
акционерная корпорация «Вымпел» (ПАО «МАК «Вымпел»)  
Героев Панфиловцев ул., д. 10, корп. 1, г. Москва, 125480  
Тел. (499) 152-95-95, факс (499) 152-93-34,  
e-mail: info@masvymtel.ru, ОКПО 07520665  
ОГРН 1027700341855, ИНН/КПП 7714041693/773301001

16.09.2024 № 1631

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Председателю  
диссертационного совета  
Д 24.2.327.03  
при «Московском авиационном  
институте (национальном  
исследовательском  
университете)» МАИ,  
доктору технических наук,  
профессору

Малышеву В.В

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

Уважаемый Вениамин Васильевич!

На Ваш исх. № 010/1932-2 от 29.07.2024 предоставляю отзыв на диссертационную работу Усовика Игоря Вячеславовича «Разработка методов и алгоритмов моделирования потоков космического мусора и метеороидов для решения прикладных задач ограничения техногенного засорения околоземного космического пространства», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.3.1 - Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

Приложение: Отзыв официального оппонента Аксенова Олега Юрьевича .... на 10л., 2экз., н/с.

Заместитель генерального директора  
по научно-техническому развитию,  
доктор технических наук, профессор

О.Ю. Аксенов

Исп. Заржицкий Г.Ю  
Тел. +7 (977) 117-43-66

Исполнено

В дело №

ОТДЕЛ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ  
И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ  
ДОКУМЕНТОВ МАИ

20.09.2024г.



№ \_\_\_\_\_  
 На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

АО «Концерн ВКО «Алмаз-Антей»  
 Публичное акционерное общество «Межгосударственная  
 акционерная корпорация «Вымпел» (ПАО «МАК «Вымпел»)  
 Героев Панфиловцев ул., д. 10, корп. 1, г. Москва, 125480  
 Тел. (499) 152-95-95, факс (499) 152-93-34,  
 e-mail: info@macvimpel.ru, ОКПО 07520665  
 ОГРН 1027700341855, ИНН/КПП 7714041693/773301001

## ОТЗЫВ

официального оппонента Аксенова Олега Юрьевича  
 на диссертационную работу Усовика Игоря Вячеславовича  
 «Разработка методов и алгоритмов моделирования потоков космического  
 мусора и метеороидов для решения прикладных задач ограничения  
 техногенного засорения околоземного космического пространства»,  
 представленную на соискание ученой степени доктора технических наук  
 по специальности 2.3.1 - Системный анализ, управление и обработка  
 информации, статистика

### 1. Актуальность избранной темы.

Диссертация, выполненная Усовиком И.В., посвящена решению научной проблемы - информационного обеспечения безопасности осуществления космических операций в условиях воздействия космического мусора и метеороидов.

При выполнении данной работы были учтены усложняющиеся условия развития обстановки в ближней и средней космических зонах, основные из которых предполагают:

- рост количества пусков ракет-носителей (РН), выводящих на орбиты всё большее количество космических аппаратов (КА), особенно в области низких околоземных орбит (НОО) до 2000 км, что, прежде всего, связано с запуском малоразмерных КА (типа «кубсат» и др.) и развертыванием многоспутниковых орбитальных группировок КА (типа «Starlink» и «OneWeb»);

- рост суммарной массы выводимых в космическое пространство объектов, обеспечиваемый усовершенствованными сверхлёгкими и сверхтяжёлыми ракетносителями (РН);

ОТДЕЛ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ  
 И КОНТРОЛЯ ИСПОЛНЕНИЯ  
 ДОКУМЕНТОВ МАИ

«20» 09 2024г.

- разрушениями отработавших изделий ракетно-космической техники (РКТ) – искусственных спутников земли (ИСЗ), разгонных блоков ИСЗ, корпусов последних маршевых ступеней РН и испытываемых баллистических ракет (БР).

Управление будущим состоянием техногенного засорения околоземного космического пространства (ОКП) предполагает ряд мер, направленных на предотвращение образования и активное удаление космического мусора (КМ), разработка которых основывается на моделировании засорения ОКП объектами естественного и техногенного происхождения.

При моделировании засорения ОКП сегодня возник новый класс задач оценки и прогнозирования потоков КМ в условиях существенного изменения космической деятельности (КД). Для этого класса задач разработанные ранее методы, основанные только на применении детерминированного подхода, или только на статистической модели космического мусора, не применимы.

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 космической деятельности. В обеспечение развития данного направления исследований разработаны новые методы и алгоритмы моделирования КМ и метеороидов, создающие новую методологическую основу моделирования потоков, формируемых космическими объектами (КО) подобного рода.

Результаты проведенных автором исследований, как существенные инновации в области расширения объективно оцениваемых показателей засоренности ОКП, представляются востребованными в связи с необходимостью формирования оценок потоков метеороидов и КМ для КА на различных орбитах с учетом условных плотностей распределений КО по орбитальным параметрам и характеристикам, прогнозировать техногенное засорение с учетом мер ограничения образования КМ, активного удаления КМ и новых условий осуществления КД, а также необходимо решать целый ряд других прикладных задач ограничения техногенного засорения ОКП.

Отличительной особенностью разработанных методик, алгоритмов и моделей является использование условных статистических распределений КМ по характеристикам и орбитальным параметрам, а также применение для

различных групп объектов отдельного моделирования – «поштучно» или в виде статистических распределений параметров и характеристик.

Все перечисленные факторы обуславливают значимое научное противоречие между потребностями практики и возможностями современной науки, которое определяет актуальность избранной темы диссертации и важность решаемой автором научной проблемы – информационного обеспечения безопасности осуществления космических операций в условиях воздействия космического мусора и метеороидов.

Следует также отметить, что в других исследованиях, которые могут быть отнесены к категории прототипных, не предложены исчерпывающие теоретические и практические решения этой научной проблемы.

## 2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Достаточная степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, подтверждается:

- поставленной целью и соответствующими задачами исследования;
- методологией и непротиворечивостью исходных теоретических положений для выполнения диссертационных исследований;
- логикой и последовательностью проведения диссертационных исследований.

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций также подтверждена тем, что:

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

- выводы и рекомендации диссертационного исследования использованы при разработке архитектуры и реализации программно-алгоритмического обеспечения расчета текущих и прогнозируемых характеристик потока КМ и метеороидов которое применяется в организациях, проектирующих космическую технику;

- 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.

- результаты диссертационного исследования должным образом апробированы опубликованием и обсуждением на международных и отечественных научно-технических конференциях в МАИ, МГТУ им. Баумана, РГРТУ, ИКИ РАН, ЦНИИмаше (г. Королёв).

3. Достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, обеспечивается:

- применением надежных и апробированных методов, адекватных сущности предмета исследования;
- математико-статистической обработкой результатов исследования;
- обширной эмпирической базой теоретического и практического материала;
- внедрением результатов исследования в практику организаций, проектирующих космическую технику.

**Новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, состоит в том, что её автором впервые:**

- на основе анализа развития обстановки в ОКП формализована задача системного анализа проблемы космического мусора и моделирования потоков космического мусора и метеороидов;
- 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;
- разработаны методы и алгоритмы расчета характеристик потока КМ, основанные на условных статистических распределениях орбитальных параметров и характеристик, для формирования информационного обеспечения безопасности проведения космических операций при принятии решений на этапе проектировании космических аппаратов;
- разработан комплекс алгоритмов для прогнозирования техногенного засорения ОКП при реализации мер ограничения образования и активного удаления КМ, основанный 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.

4. Значимость для науки и практики полученных автором результатов.

Значимость полученных результатов для науки состоит в том, что:

- теоретически разработанные автором механизмы моделирования многофакторных процессов, определяющих характеристики потока КМ и прогнозные характеристики техногенного засорения ОКП являются существенным научным вкладом для оценки техногенной засоренности ОКП и могут быть квалифицированы как новаторский подход в области 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;

- диссертация имеет определенную ценность в качестве методической базы для дальнейшей научной разработки различных аспектов оценки и прогнозирования характеристик воздействия засоренности ОКП на космические средства (КСр), оптимизации проектных и баллистических параметров КСр, а также подготовки исходных данных для принятия управленческих решений по мерам и требованиям ограничения техногенного засорения ОКП на основе результатов долгосрочного прогнозирования потоков КМ.

Значимость полученных результатов для практики заключается в том, что внедрение разработанных автором способов и методов моделирования засоренности ОКП может обеспечить:

- формирование практических рекомендаций при обосновании организационных и технических решений, направленных на предотвращение образования и активное удаление космического мусора;

- использование потенциальных возможностей оптимизации проектных и баллистических параметров создаваемых космических средств, для повышения сроков их активного применения при решении оборонных, народно-хозяйственных и фундаментальных задач практического использования ОКП.

5. Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации.

Теоретические результаты, полученные в диссертационных исследованиях, могут быть использованы:

- в исследованиях по обоснованию мер защиты от негативного влияния космического мусора на различных орбитах при различных сценариях осуществления КД, задающих условия функционирования КСр;
- в исследованиях по обоснованию наиболее безопасных орбит для проектируемых космических систем различного назначения;
- для разработки частных исследовательских математических моделей оценки текущей и прогнозируемой космической обстановки в ОКП;
- в исследованиях по обоснованию возможностей снижения интенсивности образования КМ за счет свода с орбит функционирования выработавших ресурс КА и за счет активного удаления космического мусора, формируемого потерявшими работоспособность КА.

Практические результаты и выводы диссертации могут быть рекомендованы для использования при:

- при модернизации КСр действующих космических систем различного назначения;
- при выборе наиболее безопасных орбит для проектируемых космических систем различного назначения;
- для расчетов прогнозных характеристик потока КМ и метеороидов в организациях, проектирующих космическую технику;
- для использования рассчитанных оценок потоков КМ и метеороидов в прикладных задачах при проектировании средств выведения и космических аппаратов;
- при обосновании страховых случаев для средств выведения и космических аппаратов;
- при принятии управленческих решений по мерам и требованиям ограничения техногенного засорения ОКП.

Приведенные в диссертации результаты и выводы по перечисленным вопросам целесообразно использовать:

- в научно-исследовательских организациях Минобороны России (ВКА имени А.Ф. Можайского; ЦНИИ ВКС МО РФ) – при формировании предложений по разработке тактико-технических требований к перспективным системам вооружения, содержащим космическую компоненту, а также при уточнении исходных данных на их проектирование;
- на предприятиях промышленности и в научно-исследовательских организациях (ПАО «РКК Энергия», АО «НПО им. Лавочкина»,

«ЦНИИмаш», ПАО «МАК «Вымпел», АО «Корпорация ЦНИИ «Комета», АО «НПО дальней радиолокации им. А.Л. Минца», АО «НПК СПП») при разработке предложений по развитию космических средств и средств ракетно-космической обороны, осуществляющих мониторинг ОКП;

- в образовательных организациях Минобороны России: Военной академии воздушно-космической обороны имени Маршала Советского Союза Г.К. Жукова, ВКА имени А.Ф. Можайского, и образовательных организациях Минобрнауки: МАИ, МВТУ им. Н.Э. Баумана, осуществляющих подготовку специалистов по профилям космическим средствам и ракетно-космической обороны.

#### 6. Оценка содержания диссертации, ее завершенность.

Содержание материалов диссертации изложено автором достаточно подробно, имеет внутреннее единство и завершенную форму, содержит новые научные положения и результаты, свидетельствующие о существенном теоретическом вкладе автора в науку и о практическом вкладе по разработке методов и алгоритмов моделирования потоков космического мусора и метеороидов для решения прикладных задач ограничения техногенного засорения околоземного космического пространства.

Тема и содержание материалов диссертации соответствуют паспорту специальности 2.3.1 «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика» в части пунктов 2, 10, 17 раздела «Области исследования» паспорта специальности:

- п.2 «Формализация и постановка задач системного анализа, оптимизации, управления <...>»;

- п.10 «Методы и алгоритмы интеллектуальной поддержки при принятии управленческих решений в технических системах»;

- п.17 «Прикладные статистические исследования, направленные на выявление, измерение, анализ, прогнозирование, моделирование складывающейся конъюнктуры и разработки перспективных вариантов развития сложных систем».

#### 7. Достоинства и недостатки в содержании и оформлении диссертации, мнение о научной работе соискателя в целом.

Достоинствами содержания диссертации являются логичность и доступность изложения, использование автором общепринятой научной терминологии. Материалы диссертации изложены вполне квалифицированно по научному содержанию и форме. Результаты диссертации базируются



на достаточном объеме исходных данных, представленных в ней примеров и расчетов. Диссертация написана доходчиво, грамотно и аккуратно оформлена, в заключении работы сформулированы обоснованные и подробные выводы и рекомендации.

Основные положения диссертации нашли отражение в 24 статьях, входящих в рецензируемых изданиях Перечня ВАК Минобрнауки России (включая 15 в изданиях по специальности 2.3.1), 14 рецензируемых изданиях Перечня Scopus (включая 11 Web of Science и 8 в журналах Q1), в 4 монографиях, в сборниках тезисов и трудов 40 конференций, а также используются в 3 программах для ЭВМ, 4 патентах и одном ГОСТ.

Автореферат диссертации соответствует тексту диссертации и содержит основные выводы, обобщения, предложения, разработанные в ходе исследования.

Замечания к содержанию диссертации:

1) Среди рассмотренных в работе общих проблем, создаваемых КМ, отмечалась и частная проблема создания помех средствам наблюдения в виде ложных целей и искажений формируемой этими средствами целевой информации. В связи с этим, было бы целесообразно исследовать:

- возможности прогноза параметров движения объектов КМ в верхних слоях атмосферы и формирования на этой основе оповещения для средств наблюдения о возможном факте, интенсивности и качественном проявлении инициированных объектами КМ помех в форме ложных спутников, ракет или аэродинамических целей;

- возможности использования КМ и такого его частного проявления, как «орбиты захоронения» потерявших работоспособность ИСЗ, для маскирования действующих спутников, а также возможности для средств наблюдения идентифицировать такие маскируемые спутники по признакам, присущим только космическому мусору.

2) Разворачиваемые с 2019г. многоспутниковые системы типа «Starlink», а также многоспутниковые группировки «кубсатов», применяются на орбитах, находящихся за пределами двух локальных областей в ближнем ОКП, содержащих подавляющее большинство тех «традиционных» группировок ИСЗ, которые сформировались до 2019г. Из материалов диссертации следует, что эти отличия сохраняются и в настоящее время. С учетом отмеченного, в работе не в полной мере раскрыты следующие аспекты рассматриваемого обстоятельства:

- в какой мере связаны компоненты КМ, формируемые разворачиваемыми многоспутниковыми системами и традиционными спутниковыми системами;

- в какой мере формируемый многоспутниковыми системами КМ может влиять на функционирование «традиционных» спутниковых систем.

3) К разряду дискуссионных относится вопрос целесообразности рассмотрения в проведенном исследовании вопроса о возможности искусственного формирования зарубежными странами локальных аномалий космического мусора с целью создания для себя преимуществ в освоении космического пространства, а также возможностей прогнозировать и выявлять такие аномалии.

Отмеченные замечания носят дискуссионный характер и не снижают ценность результатов проведенного исследования.

Оформление диссертации соответствует требованиям ГОСТ 7.0.11-2011 по своей структуре и распределению по разделам материалов.

#### Мнение о научной работе соискателя в целом.

В целом содержание диссертации, публикационная результативность и данные о внедрении результатов диссертационных исследований автора заслуживают высокой оценки.

Ссылки на источники заимствования материалов других авторов приведены в диссертации корректно.

#### 8. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней».

Исходя из содержания диссертации и автореферата, диссертационное исследование Усовика Игоря Вячеславовича является самостоятельно выполненным, завершенным научно-квалификационным трудом, в котором разработан комплекс новых методик и моделей, совокупность которых позволила решить актуальную научную проблему информационного обеспечения безопасности осуществления космических операций в условиях воздействия космического мусора и метеороидов, имеющую важное значение для совершенствования космической деятельности и повышения обороноспособности страны.

По своему научному содержанию, глубине и полноте выполненных исследований, а также значимости и ценности полученных результатов, диссертационная работа Усовика И.В. соответствует паспорту специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации,

статистика», требованиям пункта 9 «Положения о порядке присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, которым должна отвечать диссертация на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор, УСОВИК Игорь Вячеславович, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук.

Официальный оппонент,  
заместитель генерального директора  
ПАО «МАК «Вымпел»  
по научно-техническому развитию,  
доктор технических наук, профессор

125480, г. Москва, ул. Героев Панфиловцев, д. 10, к. 1,  
тел.: +7 (499) 152-95-95, e-mail: info@macvimpel.ru



« 16 »

2024 г.

  
О.Ю. Аксёнов

Личную подпись О.Ю. Аксёнова заверяю.

Директор по персоналу - начальник отдела кадров

  
О.К. Козлов

*С отзывом ознакомлен*

 23.05.24