

## ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, профессора  
Трушлякова Валерия Ивановича  
на диссертационную работу Сеницына Леонида Игоревича  
«Комплекс методик повышения точности маневрирования наноспутника с  
двигательной установкой», представленную на соискание учёной степени  
кандидата технических наук по специальности 2.5.16. Динамика, баллистика,  
управление движением летательных аппаратов

### *Актуальность темы диссертации*

Актуальность темы обусловлена возрастающим числом запусков наноспутников, оснащенных двигательными установками. Активно разрабатываются и испытываются новые двигатели, позволяющие расширить перечень решаемых наноспутниками задач. Количество проектов наноспутников с двигательными установками в 2023 году возросло почти в два раза по сравнению с предыдущим годом. С ростом интереса к маневрирующим наноспутникам проблема точности коррекции приобретает особое значение. Ошибки при выполнении корректирующих манёвров на орбите являются следствием угловых ускорений, приобретённых наноспутником в процессе работы двигательной установки. Исследованию причин возникновения этих угловых ускорений и разработке методик для борьбы с ними посвящена диссертационная работа Сеницына Л.И.

В диссертационной работе предложено два подхода для уменьшения погрешности реализации корректирующего импульса: во-первых, формирование требований к производственным отклонениям, возникающим при изготовлении наноспутника с двигательной установкой, во-вторых, использование активной системы стабилизации, позволяющей поддерживать пространственную ориентацию вектора тяги во время корректирующего импульса.

В связи с вышесказанным считаю, что рассматриваемая в диссертации Сеницына Л.И. тема исследований, связанная с разработкой методик

повышения точности маневрирования наноспутников с двигательными установками, является актуальной.

### *Новизна проведённых исследований и полученных результатов*

Степень научной новизны достаточна для кандидатской диссертации. В процессе решения поставленных задач автором получены следующие результаты, обладающие научной новизной:

1. Построена стохастическая математическая модель движения наноспутника с двигательной установкой при совершении маневра коррекции, отличающаяся от существующих комплексным учетом динамики движения центра масс и относительно центра масс, случайного характера погрешностей изготовления наноспутника и вероятностной модели режимов работы двигательной установки.

2. Предложена методика формирования вероятностной модели силы тяги реактивного двигателя наноспутника, которая использует понятие геометрической вероятности и отличается учетом случайных погрешностей проектных параметров и режимов работы двигательной установки.

3. Разработана методика оценки влияния случайных производственных отклонений изготовления наноспутника с двигательной установкой на угловое движение и погрешность маневрирования, позволяющая выделить параметры, дисперсии которых оказывают наибольшее влияние на дисперсии параметров движения центра масс и относительно центра масс наноспутника, и формирующая новый подход к пониманию основных источников погрешностей при маневрировании наноспутника.

4. Разработана методика формирования требований к погрешностям, возникающим при изготовлении наноспутника и двигательной установки, для достижения требуемой точности ориентации вектора тяги и результатов маневрирования, основанная на использовании регрессионного и факторного анализа.

5. Предложен подход к обеспечению одноосной стабилизации во время импульсной коррекции траектории, основанный на применении дополнительной системы поддержания требуемой угловой ориентации тяги с использованием маховика, придающей наноспутнику свойство гиростата, и введении замкнутого контура управления угловым движением наноспутника-гиростата.

*Степень обоснованности и достоверности положений, выводов и заключений*

Достоверность полученных и излагаемых в диссертации результатов, выводов и заключений обусловлена корректностью используемых математических моделей, применением известных численных методов при проведении математического моделирования. Достоверность также подтверждается частичной верификацией полученных численными методами результатов, данными, полученными экспериментальным путём, и их согласованностью с аналитическими решениями.

*Значимость результатов для науки и практики*

Значимость результатов, полученных в диссертации, для науки и практики заключается в том, что разработанные методики позволяют осуществлять выбор проектных параметров наноспутника на этапе его проектирования с учётом технологических возможностей изготовления наноспутника, и гарантировать обеспечение требуемой точности маневрирования.

Результаты исследований Сеницына Л.И. достаточно полно опубликованы в 11 статьях, в том числе в 4 статьях в журналах, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, и 3 статьях, входящих в международную базу Scopus. Результаты работы апробированы на восьми международных и всероссийских конференциях. Имеется акт об использовании результатов диссертационного исследования в эскизном



проекте наноспутника с двигательной установкой и акт о внедрении результатов диссертационного исследования в учебный процесс в образовательном учреждении высшего образования.

*Общие замечания по содержанию и оформлению диссертации*

1. Говоря о допущениях, используемых при построении математической модели движения наноспутника в процессе коррекции, автор исключает из рассмотрения аэродинамический и гравитационный моменты и заявляет об их малости, но при этом не приводятся количественные оценки этих возмущений.

2. В диссертационной работе учитываются погрешности изготовления двигательной установки и её монтажа на наноспутнике, однако при исследовании движения спутника-гиростата погрешности изготовления и установки маховика на наноспутник не рассматриваются. Желательно было бы пояснить правомерность этого допущения и как оно повлияет на полученные результаты.

3. Для верификации стохастической модели силы реактивной тяги двигательной установки наноспутника было проведено экспериментальное определение силы тяги, однако в диссертации приведены результаты лишь одного эксперимента, которые не позволяют судить о статистической достоверности сделанных экспериментальным путем оценок. Кроме того, отсутствует техническая информация об используемом измерительном приборе, не приводятся данные о том, при каких условиях и с какой погрешностью выполнялись замеры модуля силы тяги.

4. В диссертации не описано программное обеспечение, созданное автором и использованное при проведении диссертационного исследования.

Перечисленные замечания не снижают значимости полученных результатов и не влияют на общую положительную оценку проделанной диссертационной работы.

### Заключение

Диссертация представляет собой завершенную научно-исследовательскую работу на актуальную тему и выполнена автором самостоятельно на высоком научном уровне. Проведенные научные исследования можно характеризовать как научно обоснованные технические разработки, обеспечивающие повышение эффективности орбитального маневрирования наноспутников. Автореферат соответствует содержанию диссертационной работы и отражает её основные положения и выводы.

По актуальности, новизне, объёму, научной и практической ценности проведенных исследований диссертация отвечает требованиям положения о порядке присуждения учёных степеней ВАК, а её автор, Синицын Леонид Игоревич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов.

Д.т.н., профессор,  
профессор кафедры «Авиа- и ракетостроение»  
ФГАОУ ВО «Омский государственный технический университет»,  
директор НОЦ «Космическая экология» ОмГТУ,  
член-корр. Сибирского отделения МАН ВШ  
644050, Омская область, г. Омск, Пр. Мира, д. 11  
тел. +7 (3812) 27-52-12,  
e-mail: [vatrushlyakov@yandex.ru](mailto:vatrushlyakov@yandex.ru)

Подпись:



Трушляков В.И.

Дата: 17.10.2025

Я, Трушляков Валерий Иванович, согласен на обработку персональных данных.



Трушляков В.И.

Подпись д.т.н., профессора Трушлякова В.И. заверяю.

Учёный секретарь учёного совета ОмГТУ



Немцова А.Ф.