

**ОТЗЫВ****на автореферат диссертации Сеницына Леонида Игоревича  
на тему «Комплекс методик повышения точности маневрирования  
наноспутника с двигательной установкой»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением  
летательных аппаратов**

Современный уровень развития космической техники характеризуется резким усилением интереса к аппаратам нанокласса, открывающим новые возможности в решении задач обеспечения потребителей космической информацией на новом уровне. В частности, для маневрирующих КА наличие двигателей на наноспутниках существенно расширяет круг решаемых ими задач – построение многоспутниковых орбитальных группировок, предоставление новых сервисов, инспектирование других космических объектов и т.д.

Однако, изменение класса аппаратов влечет за собой и проявление новых особенностей их функционирования, которые не играли важной роли для т.н. «больших» КА. В частности, для КА нанокласса существенными являются производственные отклонения при его изготовлении, а также различные погрешности в определении взаимного расположения центра масс наноспутника и сопла реактивного двигателя, оказывающие влияние на точность маневрирования КА. В связи с этим диссертационная работа Сеницына Л.И., направленная на исследование вопросов повышения точности маневрирования наноспутника с двигательной установкой в стохастической постановке представляется несомненно актуальной.

Объектом исследования является движение наноспутника с двигательной установкой в процессе совершения манёвра коррекции траектории.

Предметом исследования являются подходы и методики повышения точности орбитального маневрирования наноспутника.

Целью работы является повышение точности маневрирования наноспутника с двигательной установкой при воздействии факторов стохастической природы.

Отличительной особенностью диссертационной работы Сеницына Л.И. является исследование в стохастической постановке проблемы маневрирования применительно к наноспутникам, а также разработка методики повышения точности маневрирования наноспутника за счёт ужесточения требований к производственным отклонениям и применения дополнительной системы стабилизации с использованием маховика.

Судя по автореферату, автором в ходе исследования получены следующие научные положения и результаты:

1. Стохастическая математическая модель движения наноспутника с двигательной установкой при совершении манёвра 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.

Усл. от 07.11.2023 №РКС НТС 9-30



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

3. Методика оценки влияния случайных производственных отклонений изготовления наноспутника с двигательной установкой на угловое движение в процессе выдачи корректирующего импульса и в конечном счёте на погрешность маневрирования, позволяющая выделить факторы, дисперсии которых оказывают наибольшее влияние на дисперсии параметров движения центра масс и относительно центра масс наноспутника.

4. Методика формирования требований к погрешностям, возникающим при изготовлении наноспутника и двигательной установки для достижения требуемых ориентации в процессе выдачи корректирующего импульса и точности маневрирования, основанная на использовании регрессионного и факторного анализа.

5. Подход к обеспечению одноосной стабилизации наноспутника во время импульсной коррекции траектории, основанный на применении дополнительной системы поддержания требуемой угловой ориентации тяги с использованием маховика, и замкнутого контура управления угловым движением, включая расчёт величины потребного кинетического момента маховика, выбор циклограммы его работы и синтез оптимального регулятора состояния.

6. Результаты моделирования, подтверждающие эффективность применения разработанных методик на примере проекта наноспутника SamSat-M (формата CubeSat-3U) с электротермической двигательной установкой.

Достоверность результатов обеспечивается использованием корректных математических моделей, применением известных численных методов при проведении математического моделирования, частичной верификацией результатов, полученных численными методами, данными, полученными экспериментальным путём, и их согласованностью с аналитическими решениями.

Все полученные результаты обладают научной новизной и практической значимостью.

Личный вклад автора состоит в том, что все основные научные положения, результаты, выводы и рекомендации сформулированы, получены, обработаны и проверены автором лично, результаты работы достаточно широко опубликованы и апробированы на ряде научных конференций различного уровня.

В качестве замечаний и недостатков представленного диссертационного исследования можно отметить:

1) В автореферате не приведена в явном виде научная задача исследования, которая, по-видимому, может быть сформулирована следующим образом: разработка комплекса методик повышения точности маневрирования наноспутника с двигательной установкой в условиях воздействия стохастических факторов различной природы.

2) Формальная постановка задачи в том виде, в котором она приведена на стр.6, 7 автореферата, заявлена как оптимизационная (поиск  $\min$ ), однако по факту получено решение, удовлетворяющее критерию рациональности, оптимальность в работе не доказывалась.



3) правомерность допущения о модели движения наноспутника относительно центра масс с учетом только возмущающего момента от силы тяги без учета внешних моментов в тексте автореферата не обосновывается.

Тем не менее, представленные выше замечания не ставят под сомнение теоретическую и практическую значимость полученных в ходе выполнения диссертационной работы научных результатов и не снижают ее общую положительную оценку.

Вывод: диссертационная работа Сеницына Леонида Игоревича является самостоятельной научно-квалификационной работой, обладающей внутренним единством и содержащей научные результаты решения актуальной научной задачи по разработке комплекса методик повышения точности маневрирования наноспутника с двигательной установкой в условиях воздействия стохастических факторов, имеющей существенное значение для создания перспективных орбитальных группировок на основе КА нанокласса.

Диссертационная работа соответствует критериям, предъявляемым к кандидатским диссертациям раздела II «Положения о присуждении ученых степеней», а ее автор, Сеницын Леонид Игоревич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов.

Главный научный сотрудник экспертно-аналитического центра  
АО «Российские космические системы»,  
д.т.н, профессор тел. 8-495-673-96-61, Email: potyupkin@spacecorp.ru



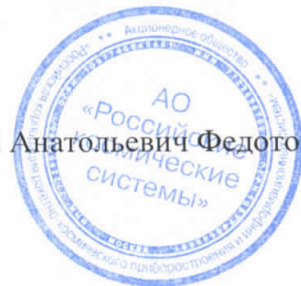
Потюпкин Александр Юрьевич

Подпись главного научного сотрудника Потюпкина Александра Юрьевича  
заверяю.

Ученый секретарь  
АО «Российские космические системы»,  
кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник



Сергей Анатольевич Федотов



« 7 » ноября 2023 г.