

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОПППОНЕНТА Я.В. МАШТАКОВА

на работу Сеницына Леонида Игоревича

«Комплекс методик повышения точности маневрирования наноспутника с двигательной установкой»,

представленную в качестве диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности

2.5.16 – Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов

Актуальность темы диссертации. В настоящее время широкое распространение получают малые космические аппараты, масса которых едва ли превосходит десятки килограмм. Они способны выполнять самые актуальные прикладные и научные задачи, такие как, например, проведение оптической съемки земной поверхности, а также измерение различных параметров магнитосферы и ионосферы Земли. К достоинствам таких аппаратов можно отнести достаточную дешевизну разработки, обусловленную наличием стандартизированных компонентов, а также низкую стоимость запуска. В то же время, из-за ограничений, накладываемых на объем, массу и энергетику, разработка двигательных установок для малых аппаратов существенно усложняется. В частности, особенно важной становится задача парирования паразитных моментов, которые возникают во время проведения маневра из-за несовпадения оси тяги и центра масс аппарата. Исследованию этой задачи и посвящена работа диссертанта, что показывает ее несомненную актуальность и практическую значимость.

Структура и содержание работы. Диссертация изложена на 119 страницах, и состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных обозначений, списка литературы (включающего девяносто девять наименований), а также двух приложений. Результаты диссертации в полной мере изложены в 11 работах, в том числе 4 рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, и 3 статьях, индексируемых базой SCOPUS.

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, излагается цель работы и положения, выносимые на защиту. Там же показывается научная новизна и практическая значимость представленной диссертации, рассказывается об апробации и приводится список опубликованных работ по теме диссертации. Также, выделяется личный вклад автора и подтверждается соответствие диссертации паспорту специальности.

Первая глава содержит сведения об используемых в диссертации системах координат и моделях движения. В частности, в ней приводятся уравнения в равноденственных элементах, описывающие движение центра масс аппарата, модель работы двигательной установки, а также уравнения углового движения с учетом изменения массы аппараты в процессе совершения маневра.

Вторая глава посвящена задаче исследования влияния случайных факторов, связанных с изготовлением и положением двигательной установки, на точность выполнения маневра и итоговую точность ориентации и стабилизации аппарата после выполнения маневра. Для этого в работе строится линейная регрессионная модель. Помимо этого, приводится исследование влияния ошибок производства двигательной установки (площадь критического сечения и давление рабочего тела перед ним) на силу тяги двигателя.

Входящий № 206-9004
Дата 23 НОЯ 2023
Самарский университет

В третьей главе полученная регрессионная модель используется для формирования требований к точности изготовления и положения двигательной установки. Помимо этого, диссертантом предлагается алгоритм активного управления ориентацией аппарата во время маневра с использованием линейно-квадратичного регулятора для управления угловыми степенями свободы, ортогональными продольной оси аппарата. При этом предполагается, что во время маневра вдоль продольной оси аппарата расположен вращающийся с постоянной угловой скоростью маховик.

В четвертой главе проводится массивное численное моделирование при помощи метода Монте-Карло. С его помощью определяются требования к точности изготовления двигательной установки, разработанной в Самарском университете. В частности, были идентифицированы основные факторы, которые влияют на точность исполнения маневра, а также получены оценки необходимой точности производства и установки двигателя.

Заключение содержит основные выводы диссертационной работы.

В приложениях даются некоторые выкладки по расчету адиабаты рабочего тела, а также приводится схема эксперимента по вычислению тяги двигательной установки.

Автореферат достаточно полно отражает основные результаты диссертационной работы.

Научная новизна: полученные в ходе работы результаты являются новыми, в частности предложенная стохастическая модель движения космического аппарата, а также разработанная методика формирования требований к двигательной установке.

Достоверность полученных результатов подтверждается использованием классических методов теории математической статистики, а также большим количеством численных экспериментов.

Практическая значимость работы несомненна, так как полученные в ходе исследования результаты легко найдут свое применение в дальнейшей разработке и модификации создаваемой в Самарском университете двигательной установки.

Отмечу, что к работе имеется ряд замечаний.

1. Текст работы иногда выглядит небрежным, встречаются опечатки и пунктуационные\орфографические ошибки.
2. В первой главе, при выводе уравнений углового движения для аппарата в ходе выполнения маневра, отсутствует дополнительное слагаемое, связанное с производной тензора инерции.
3. Во второй главе никак не обосновывается выбор модели линейной регрессии для оценки возникающих возмущений. Возможно, использование более сложных моделей позволило бы улучшить полученные результаты.
4. В работе используется равномерное распределения для описания ошибок изготовления и положения двигательной установки, при этом такой выбор никак не обоснован. Гораздо более естественным кажется использование нормального распределения.
5. В третьей главе рассматривается использование быстро вращающегося маховика для поддержания ориентации продольной оси аппарата. При этом предполагается, что корпус аппарата практически покоится. В то же время, в четвертой главе рассматривается маневр, в начале которого как маховик, так и аппарат покоились. При раскрутке маховика корпус начнет вращаться, что приведет к осреднению

поперечных моментов сил тяги. Именно этот эффект, а не гиростатический момент, позволяет удерживать продольную ось аппарата на месте. Отмечу также, что не рассматривались ошибки в точности знания тензора инерции аппарата: непараллельность оси вращения маховика и главной центральной оси инерции может привести к достаточно серьезным ошибкам ориентации.

В то же время, эти замечания не влияют на общую положительную оценку диссертационной работы. Она выполнена на достаточном научно-техническом уровне, а научные положения, выводы и результаты, сформированные в диссертации, являются обоснованными.

Заключение

Считаю, что диссертационная работа «Комплекс методик повышения точности маневрирования наноспутника с двигательной установкой» является законченной научно-квалификационной работой, по содержанию соответствующей паспорту специальности и требованиям Положения ВАК (в текущей редакции), предъявляемым к диссертационным работам по специальности 2.5.16 – Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов. Считаю, что диссертант Сеницын Леонид Игоревич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16 – Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов.

Официальный оппонент:

Маштаков Ярослав Владимирович

Кандидат физико-математических наук (01.02.01 – Теоретическая механика)

Научный сотрудник отдела №7 «Динамика космических систем»

Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр
Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук»

125047, г. Москва, Миусская пл., д. 4

e-mail: mashtakov@keldysh.ru

телефон: +7(916)-545-2991

Маштаков Я.В.
22.11.2023

Подпись официального оппонента Я.В. Маштакова удостоверяю:

Ученый секретарь ИПМ им. М.В.Келдыша РАН,

К.ф.-м.н. Давыдов А.А.

