

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации
Крамлиха Андрея Васильевича

«Методы и алгоритмы обеспечения отказоустойчивого управления угловым движением малоразмерных космических аппаратов», представленной на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 2.5.16 – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов» (технические науки)

Актуальность диссертационного исследования обусловлена тем, что в настоящее время наблюдается повышенный интерес к использованию малоразмерных космических аппаратов (МКА) для решения широкого круга задач в ближнем и дальнем космосе. Данная тенденция объясняется совокупностью факторов, присущих МКА, среди которых следует отметить малые сроки разработки и относительно невысокую стоимость, достигаемую, в том числе, за счёт использования электронной компонентной базы (ЭКБ) общего назначения. Однако недостатком применения указанной ЭКБ является её низкая устойчивость к воздействию факторов космического пространства. Ввиду массогабаритных ограничений МКА, повышение отказоустойчивости бортовых систем за счёт аппаратного резервирования представляется затруднительным. Поэтому алгоритмический подход к обеспечению отказоустойчивости бортовых систем, в частности, системы управления угловым движением, является наиболее целесообразным.

Научная новизна диссертационного исследования состоит в том, что во-первых, предложена архитектура системы управления угловым движением (СУД) МКА, включающая цифровой двойник в контуре обратной связи, что обеспечивает автономное детектирование отказов измерительных средств и адаптацию бортового ПО;

во-вторых, разработан комплекс алгоритмов определения ориентации МКА, включающий бесинтерферометрический метод по данным ГНСС и схемы комплексирования разнотипных измерений, адаптирующиеся к отказам датчиков без применения нелинейных наблюдателей;

в-третьих, синтезированы программы и законы квазиоптимального терминального и адаптивного управления, обеспечивающие работоспособность СУД при отказах и деградации исполнительных органов за счёт интеллектуального перераспределения управляющих моментов.

Входящий № 207-9248
Дата 12 ОКТ 2026
Самарский университет

Обоснованность и достоверность полученных результатов подтверждаются публикациями в ведущих журналах перечня ВАК, в изданиях, индексируемых Scopus/WoS, свидетельствами о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Практическая ценность полученных результатов заключается в возможности их использования как на этапе проектирования новых МКА, так и при модернизации уже созданных аппаратов путём обновления бортового программного обеспечения.

Значимость результатов для науки сводится к трём ключевым направлениям:

1. Теория отказоустойчивых систем управления: математическая формализация концепции бортового цифрового двойника для автономного детектирования отказов и алгоритмической реконфигурации. Это расширяет теоретические представления о парировании нештатных ситуаций в условиях принципиальной невозможности аппаратного резервирования.

2. Теория навигации и оценивания состояния: формирование оригинального математического аппарата определения пространственной ориентации по дискретной информации о геометрической видимости НКА ГНСС (без использования радиоинтерферометрии), а также развитие методов сильносвязанного и слабосвязанного комплексирования разнородной измерительной информации.

3. Теория оптимального и робастного управления: развитие методов синтеза квазиоптимальных терминальных управлений (с параметризацией чётными рядами Фурье) и адаптивных законов скользящего режима.

К недостаткам работы следует отнести:

1. В автореферате отсутствует сквозная матрица соответствия «вид отказа – обнаруживаемый признак – изоляция – активируемая конфигурация – сохраняемая функция аппарата – время восстановления». Из-за этого отдельные алгоритмы представлены убедительно, но труднее оценить полноту покрытия требований к отказоустойчивости на уровне миссии МКА.

2. Основные сценарии сформулированы как установившийся отказ одного или двух датчиков либо каналов управления. Для эксплуатации существенно также поведение при перемежающихся неисправностях, последовательном накоплении отказов и общей причине, одновременно искажающей реальный канал и его модель. Не раскрыта логика подтверждения восстановления и безопасного возврата из деградированной конфигурации в штатную без повторных переключений.

3. Из текста автореферата непонятно, каким образом осуществляется коррекция нормы кватерниона ориентации в (3). Обычно в бесплатформенных инерциальных навигационных системах интегрирование кинематических уравнений осуществляют не в виде (3) а, к виду в правой части (3) добавляется член, отвечающий за автоматическую коррекцию нормы кватерниона.

4. Тексте автореферата, при описании метода расчета аэродинамического момента не указано каким образом для этого предполагается рассчитывать плотность атмосферы, к-т лобового сопротивления, площадь миделева сечения.

5. При описании результатов третьей главы автор в качестве параметров ориентации использует углы Эйлера-Крылова, но при этом не указывает последовательность поворотов.

6. В тексте автореферата в различных формулах используются одинаковые обозначения величин, имеющих разный смысл. В частности, в (4), (5) и (6) используется обозначение ε , характеризующая различные шумы, различных датчиков, в формуле (28) применяется обозначение S , используемое ранее в (4) и т.д.

7. В тексте автореферата имеются несогласованные фразы, в частности на стр.14 имеется «В блоке 1 рассчитываются координат невидимых НКА».

Указанные недостатки не снижают теоретической и практической значимости исследований автора.

Диссертация Крамлиха Андрея Васильевича «Методы и алгоритмы обеспечения отказоустойчивого управления угловым движением малоразмерных космических аппаратов», представленная на соискание ученой степени доктора технических наук является научно-квалификационной работой, в которой сформулирована и решена научная проблема, имеющая важное значение для развития теоретических и практических методов проектирования систем ориентации и стабилизации МКА. Внедрение полученных результатов позволит значительно повысить ресурс и отказоустойчивость указанных систем, что имеет важное хозяйственное значение при создании современных МКА различного назначения.

Представленная работа «Методы и алгоритмы обеспечения отказоустойчивого управления угловым движением малоразмерных космических аппаратов» соответствует требованиям пунктов 9 - 14, 25 «Положения о порядке присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (в редакции от 16.10.2024 г.), предъявляемым к диссертациям на соискание

ученой степени доктора наук. Автор диссертационной работы Крамлих Андрей Васильевич, заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 2.5.16 – «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов» (технические науки).

Начальник сектора
ПАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва»
доктор технических наук

« 21 » сентября 2026 г.

 Сумароков Антон Владимирович

Начальник отдела
ПАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва»
доктор технических наук

« 21 » сентября 2026 г.

 Муртазин Рафаил Фарвазович

Публичное акционерное общество «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С. П. Королёва»
Адрес: ул. Ленина, 4а, г. Королёв, Московская обл., Россия, 141070
Тел.: +7 495 513-8655
e-mail: anton.sumarokov@rsce.ru

Подписи д.т.н. Сумарокова А.В. и д.т.н. Муртазина Р.Ф. заверяю.
Ученый секретарь
ПАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва»
доктор физико-математических наук

« 21 » сентября 2026 г.



Хатунцева О.Н.