

Отзыв

на автореферат диссертационной работы Крамлиха А.В.

«Методы и алгоритмы обеспечения отказоустойчивого управления угловым движением малоразмерных космических аппаратов», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности

2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов

В диссертационной работе Крамлиха А.В. рассматривается проблема обеспечения отказоустойчивого управления угловым движением малоразмерных космических аппаратов (МКА). За последние два десятилетия МКА превратились из экспериментальных платформ в полноправный инструмент решения широкого спектра научных и прикладных задач: дистанционного зондирования Земли, изучения геофизических полей, мониторинга климата, отработки перспективных технологий на орбите. По данным различных агентств и служб, число запускаемых МКА ежегодно возрастает, а их функциональность непрерывно усложняется – появляются трансформируемые элементы конструкции, двигательные установки, многоспектральная научная аппаратура.

Вместе с тем именно система управления угловым движением (СУД) является одним из наиболее уязвимых элементов бортового комплекса МКА. Статистика отказов показывает, что неисправности элементов СУД занимают одно из первых мест среди причин досрочного прекращения миссий. Для МКА ситуация усугубляется рядом принципиальных ограничений: невозможностью обеспечить аппаратное резервирование исполнительных устройств из-за жёстких ограничений на массу и габариты; использованием неспециализированной элементной базы, более подверженной радиационному воздействию и деградации; ограниченным объёмом наземных испытаний перед запуском.

В этих условиях разработка методов и алгоритмов, обеспечивающих автономное детектирование отказов и реконфигурацию алгоритмического обеспечения СУД без вмешательства наземного комплекса управления, представляет собой научно-техническую проблему большой значимости. Автор справедливо указывает, что комплексные исследования отказоустойчивости управления угловым движением МКА с одновременным решением задач как обратной связи (определение параметров движения), так и прямой цепи (формирование управления) при учёте внешних возмущений и невозможности резервирования исполнительных устройств до настоящего времени в полном объёме не проводились. Это подтверждает актуальность и новизну проведенного диссертационного исследования.

К значимым теоретическим результатам диссертационного исследования можно отнести следующее:



1. Предложена и обоснована структура контура управления, включающая цифровой двойник как средство автономного детектирования отказов и принятия решений о реконфигурации алгоритмического обеспечения. Систематизированы математические модели движения и измерений, образующие основу цифрового двойника, и формализована процедура диагностики на основе сравнения расчётных и фактических измерений.

2. Предложен оригинальный метод использования геометрической видимости навигационных спутников ГНСС для оценки параметров углового движения МКА. Разработаны четыре алгоритма, различающихся по числу антенн, типу отыскиваемых параметров и использованию одномоментных или накопленных измерений. Метод не требует радиоинтерферометрии и реализует принципиально новый источник информации для контура обратной связи.

3. Синтезированы адаптивный и квазиадаптивный законы управления угловым движением МКА на основе скользящего режима с нелинейной поверхностью скольжения, обеспечивающие устойчивое управление при снижении доступного управляющего момента до 5 % от номинального значения.

Практическая значимость работы определяется следующим:

1. Алгоритмы синтеза программного управления угловым движением при отказе каналов исполнительных устройств позволяют планировать манёвры переориентации в нештатных ситуациях, что критически важно для спасения миссии.

2. Алгоритмы определения ориентации по анализу геометрической видимости навигационных спутников не требуют дополнительной бортовой аппаратуры и могут быть реализованы программно-алгоритмическим способом на существующих навигационных приёмниках.

Важно отметить, что автор последовательно придерживается расчётно-теоретического метода исследования, используя аппарат теории движения ИСЗ, теории управления, теории обработки измерений и численных методов. Достоверность результатов подтверждается многократным статистическим моделированием, сравнением с известными подходами (обратные задачи динамики, принцип максимума Понтрягина) и согласованием с опубликованными результатами других исследователей.

При общей высокой оценке работы имеются отдельные замечания, не снижающие её научной и практической ценности:

1. В работе основное внимание уделено расчётно-теоретическому исследованию и математическому моделированию разработанных методов и алгоритмов. Вместе с тем практическую ценность результатов можно было бы представить более полно, приведя дополнительные сведения о стендовой или лётной апробации отдельных алгоритмов, в

частности результаты сопоставления модельных данных с телеметрической информацией наноспутников семейства СамСат. Это позволило бы нагляднее оценить адекватность используемых моделей реальным условиям функционирования малоразмерных космических аппаратов.

2. В предложенной методике детектирования отказов измерительных средств пороговое значение допустимого рассогласования определяется по результатам наземной калибровки либо на основании паспортных характеристик датчиков. Представляло бы интерес более подробно рассмотреть чувствительность методики к выбору данного порога, включая вероятности ложного обнаружения отказа и пропуска аномального измерения при различных уровнях шумов и погрешностях бортовой модели. Данное дополнение расширило бы представление об условиях практического применения разработанной методики.

3. Предложенная архитектура предусматривает функционирование цифрового двойника на борту аппарата, а ряд задач синтеза управления решается с применением алгоритма дифференциальной эволюции и определением значительного числа коэффициентов функционального ряда. В этой связи целесообразно было бы привести оценки требуемых вычислительных ресурсов, объёма памяти и времени выполнения соответствующих процедур на типовых бортовых вычислителях МКА. Такая информация дополнительно подтвердила бы реализуемость разработанных алгоритмов в реальном масштабе времени.

4. В работе отсутствует экспериментальная верификация на бортовом оборудовании или в полунатурном моделировании. Все результаты получены численным моделированием. Для усиления практической составляющей было бы полезно привести данные лётных испытаний или хотя бы стендовой отработки алгоритмов на реальном бортовом вычислителе.

Указанные замечания носят рекомендательный характер и не влияют на общую положительную оценку работы.

Диссертационная работа Крамлиха А.В. на тему «Методы и алгоритмы обеспечения отказоустойчивого управления угловым движением малоразмерных космических аппаратов» представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, в которой решена актуальная научно-техническая проблема обеспечения отказоустойчивого управления угловым движением малоразмерных космических аппаратов.

Диссертация соответствует требованиям п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» ВАК РФ, предъявляемым к докторским диссертациям, а её автор Крамлик Андрей Васильевич, заслуживает присуждения ученой степени доктора

технических наук по специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов.

Доктор физико-математических наук,
директор физико-математического
института ФГАОУ ВО «Пермский
государственный национальный
исследовательский университет»



Барулина Марина Александровна

Я, Барулина Марина Александровна, согласна на обработку персональных данных.

614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15, ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный
исследовательский университет»,
+7 (342) 239-63-26
E-mail: info@psu.ru

