

ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы 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»

Диссертационная работа А. В. Крамлиха посвящена одной из ключевых проблем современной практической космонавтики — сохранению управляемости малоразмерных космических аппаратов (МКА) при возникновении неисправностей в бортовой аппаратуре. Для аппаратов данного класса задача осложняется тем, что массово-габаритные ограничения не позволяют применить традиционное аппаратурное резервирование, а заметное влияние аэродинамического момента на низких орбитах требует учёта внешних возмущений уже на этапе синтеза алгоритмов.

Актуальность темы обусловлена опережающим ростом числа запусков наноспутников и ужесточением требований к срокам их активного существования. Статистика полётов показывает, что выход из строя бортовой системы ориентации — одна из главных причин невыполнения миссии. При этом на МКА невозможна установка дублирующих исполнительных устройств, а связь с наземным центром управления может быть эпизодической. Автор справедливо отмечает, что в таких условиях единственный реалистичный путь повышения надёжности — алгоритмическая реконфигурация бортового программно-математического обеспечения, не требующая дополнительной массы и энергозатрат.

Результаты диссертационной работы апробированы на основе публикаций в научной печати, входящих в перечень ВАК, и в периодических научных журналах, индексируемых RSCI, Scopus, а также выступлений на научно-технических конференциях и семинарах различного уровня. Список приведенных в автореферате диссертации публикаций подтверждает личный вклад автора в решение поставленной научной проблемы.

Характеристика основных результатов и научная новизна. Сильной стороной диссертации является охват задачи в целом — от определения ориентации при частичной потере измерительной информации до формирования управляющих воздействий при выходе из строя отдельных исполнительных устройств. Можно выделить следующие оригинальные результаты:

1. Предложена принципиально новая структурная схема контура управления ориентацией МКА, в которой параллельно с бортовыми алгоритмами функционирует программная модель аппарата — «цифровой двойник», — вычисляющая прогнозные значения показаний датчиков. Сопоставление прогноза с реальными данными позволяет автономно выявлять сбойные измерительные каналы и перестраивать логику обработки информации. Применение подобного подхода в системах ориентации наноспутников до этого глубоко не исследовалось.

2. Разработан способ оценивания углового положения МКА, опирающийся на данные о составе видимых навигационных спутников ГНСС и применимый при произвольном числе приёмных антенн. Подход не требует фазовых интерферометрических измерений и тем самым снимает ограничения,

свойственные классическим радиоинтерферометрическим методам определения ориентации.

3. Построены два варианта объединения данных разнотипных бортовых датчиков (магнитометров, солнечных датчиков, гироскопов, ГНСС-приёмников) — с глубокой (совместная обработка в едином фильтре) и отдельной (предварительная обработка по каждому типу сенсора) интеграцией. Дополнительно сформирован набор алгоритмов, которые переключаются в зависимости от того, какие именно датчики отказали, без привлечения адаптивных фильтрующих структур или нелинейных наблюдателей состояния.

4. Для номинального режима, а также для случаев потери одного—двух каналов исполнительных устройств найдены субоптимальные программные управления переводом аппарата в заданное угловое положение. Управляющая функция аппроксимируется тригонометрическим рядом, а коэффициенты подбираются численной оптимизацией; при этом в модель движения включены гравитационный и аэродинамический моменты.

Практическая значимость подтверждена внедрением разработанных алгоритмов при проектировании систем ориентации наноспутников серии «СамСат», а также поддержкой исследований на протяжении ряда лет грантами РФФИ, РНФ и программой госзадания Минобрнауки. Область соответствия паспорту специальности 2.5.16 охватывает пункты, связанные с моделированием движения, разработкой алгоритмов управления и навигационного обеспечения летательных аппаратов.

Замечания.

1. В постановке задачи терминального программного переориентирования не оговорены ограничения на величину управляющего момента. Для реальных исполнительных устройств МКА (маховики, магнитные катушки) такие ограничения физически существенны; если в работе решается задача без ограничений, это стоит прямо отметить.

2. Автор указывает, что введение цифрового двойника увеличивает вычислительную нагрузку на бортовой процессор, однако количественных оценок требуемого процессорного времени и объёма памяти в автореферате не приведено. Поскольку именно бортовая реализуемость является критическим фактором для МКА, эта информация существенно повысила бы аргументированность предложений.

3. Пороговый критерий отбраковки аномальных измерений, используемый при детектировании отказов датчиков, характеризуется максимальным допустимым рассогласованием $\delta_{\max}$. Не показано, как выбор этого порога влияет на вероятности ложной тревоги и пропуска отказа. Количественный анализ этого выбора укрепил бы методическую обоснованность подхода.

4. При построении квазиадаптивного закона управления коэффициенты аппроксимирующего соотношения вычислены численно для конкретных инерционных параметров аппарата. Остается открытым вопрос о чувствительности этих коэффициентов к вариациям массово-инерционных характеристик, что важно для распространения результатов на другие МКА.

5. В автореферате (стр. 13) приведены покомпонентные выражения матриц перехода между системами координат, что для ограниченного объёма автореферата представляется избыточным; этот материал логичнее разместить только в основном тексте диссертации.

Перечисленные замечания носят дискуссионный характер и не снижают общей научной и практической ценности работы.

Заключение. Диссертация Андрея Владимировича Крамляха представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, в которой на основе проведённых исследований создана теоретико-методологическая база для построения отказоустойчивых систем ориентации малоразмерных космических аппаратов. По уровню теоретического обобщения, объёму и оригинальности полученных результатов работа отвечает требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени доктора технических наук, и критериям, установленным «Положением о присуждении учёных степеней», утверждённым постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842.

Считаем, что Крамлях Андрей Васильевич заслуживает присуждения ему учёной степени доктора технических наук по специальности 2.5.16 «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов».

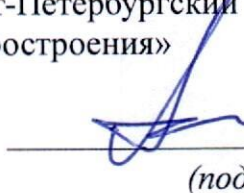
Проректор по научно-технологическому развитию, директор института аэрокосмических приборов и систем, профессор, доктор технических наук, профессор,

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»


Майоров Николай Николаевич
(подпись)

И.о. заведующего кафедрой аэрокосмических измерительно-вычислительных комплексов, доцент, кандидат технических наук, доцент

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»


Перлюк Владимир Владимирович
(подпись)

Служебный адрес: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»

Адрес: 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А

Телефон: (812) 710-65-10; (812) 494-70-93

Сайт: <https://guap.ru/>

Эл. почта: info@guap.ru

