

ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Крамлиха Андрея Васильевича
на тему «**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

Работа Крамлиха А.В. посвящена решению актуальной научной проблемы обеспечения отказоустойчивости управления угловым движением малоразмерных космических аппаратов (МКА). В условиях постоянного роста количества запускаемых МКА и повышения требований к продолжительности их активного функционирования, а также усложнения их конструкций, проблема сохранения управляемости при отказах бортовых систем становится критической. Особую значимость этот вопрос приобретает ввиду жестких ограничений на массу, габариты и энергопотребление, характерных для МКА, и невозможности обеспечения традиционной аппаратурной избыточности.

Целью работы является обеспечение отказоустойчивости управления угловым движением МКА.

В ходе исследования разработана архитектура системы управления угловым движением МКА с цифровым двойником в контуре обратной связи для автономного детектирования отказов измерительных средств и адаптации бортового программного обеспечения; предложен метод определения параметров движения по геометрической видимости навигационных КА ГНСС без радиоинтерферометрии; созданы сильносвязанные и слабосвязанные схемы и алгоритмы комплексирования разнотипных измерений, а также адаптирующийся к отказам датчиков алгоритм оценки параметров движения (без фильтров и наблюдателей) и двухэтапный алгоритм на основе фильтра Калмана с использованием только магнитометрических данных. Для штатного режима и при отказе одного-двух каналов исполнительных устройств получено квазиоптимальное терминальное программное управление с учётом внешних моментов; для случая высокой деградации (до 5% от максимального значения в штатном случае) разработаны адаптивный и квазиадаптивный законы управления в скользящем режиме, перераспределяющие управление на исправные органы исполнительных устройств.

Научная новизна работы заключается в комплексном решении проблемы обеспечения отказоустойчивости, охватывающем как контур обратной связи (определение параметров движения при отказах датчиков), так и прямую цепь (синтез управлений при отказах и деградации исполнительных устройств). Особо следует отметить оригинальный подход к определению ориентации по геометрической видимости навигационных КА, не требующий радиоинтерферометрии, а также предложенные алгоритмы синтеза квазиоптимальных управлений и законов управления в скользящем режиме, адаптирующихся к отказам.

Практическая значимость работы подтверждается использованием разработанных алгоритмов при создании систем управления угловым движением наноспутников семейства СамСат, а также апробацией результатов в рамках ряда научных проектов при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, Российского научного фонда и по программе госзадания Минобрнауки РФ.

Вместе с тем к содержанию автореферата есть ряд замечаний:

1. В математической постановке задачи управления (1)–(4) ничего не сказано об ограничении на вектор управляющего момента и граничных условиях задачи, являющихся важными составляющими любой задачи управления КА (если же в работе рассматривается задача без ограничения на управления, то это следовало бы отметить). При этом на стр. 13 в покомпонентном виде приводятся стандартные матрицы перехода между системами координат, затрачивая тем самым ограниченный объём автореферата.

2. Из автореферата не понятно, каковы вычислительные затраты на реализацию цифрового двойника в бортовом вычислителе МКА. Отсутствуют количественные оценки (время выполнения, требуемый объём памяти) для типовых бортовых компьютеров, используемых на наноспутниках.

3. Не ясно, как величина порогового значения $\delta_{\max}$, используемого для отбраковки аномальных измерений, сказывается на частоте ложных тревог и вероятности пропуска реального отказа.

4. В пятой главе при синтезе квазиадаптивного управления (стр. 30) коэффициенты A_i , B_i в аппроксимирующей функции были найдены численно для конкретных параметров МКА, приведённых в табл. 5. Не ясно, насколько чувствительны эти коэффициенты к изменению массово-инерционных характеристик наноспутника.

Указанные замечания не снижают научной и практической значимости проведённых исследований.

Считаем, что диссертация Крамлиха А.В. представляет собой законченную научно-исследовательскую работу и соответствует критериям п.п. 9-14 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842, а её автор Крамлих А.В. заслуживает присуждения ему учёной степени доктора технических наук по специальности 2.5.16. Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов.

Главный научный сотрудник лаборатории механики, навигации и управления движением ИПТМУ РАН, д.т.н.

Молоденков
31.08.2026.

А.В. Молоденков

Старший научный сотрудник лаборатории механики, навигации и управления движением ИПТМУ РАН, к.т.н., доц.

И.А. Панкратов
31.08.2026

И.А. Панкратов

Служебный адрес: 410028, г. Саратов, ул. Рабочая, 24, Институт проблем точной механики и управления – обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Саратовский научный центр Российской академии наук» (ИПТМУ РАН), т. (8452) 22-23-76, ф. 22-23-40, e-mail: info@iptmuran.ru.

Я, Молоденков Алексей Владимирович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой докторской диссертации Крамлиха Андрея Васильевича, и на их дальнейшую обработку.

Молоденков
31.08.2026.

А.В. Молоденков

Я, Панкратов Илья Алексеевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой докторской диссертации Крамлиха Андрея Васильевича, и на их дальнейшую обработку.

И.А. Панкратов 31.08.2026 И.А. Панкратов

Подписи д.т.н. Молоденкова А.В.
и к.т.н., доц. Панкратова И.А. заверяю:
Начальник отдела кадров ИПТМУ РАН



Е.Ю. Носкова

31.08.2026