

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Кулакова Александра Юрьевича, на тему «Модель и алгоритмы реконфигурации системы управления движением космического аппарата», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации (технические системы)»

Актуальность темы диссертационной работы. Качество и полнота получаемой из космоса информации, оперативность ее доставки потребителю определяются целым рядом факторов, среди которых одним из важнейших является точность управления движением космических аппаратов (КА) дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). Погрешности ориентации КА непосредственно влияют на точность наведения оптической оси бортовой аппаратуры наблюдения на заданные объекты ДЗЗ, на точность топографической привязки получаемых снимков земной поверхности, на эффективность расходования бортовых носителей целевой информации и, как следствие, на производительность процесса наблюдения и вероятность выполнения целевой задачи. Стремление к повышению автономности и живучести сложных технических объектов (СТО) космического назначения (в частности, КА и его бортовой аппаратуры (БА)) значительно опережает темпы развития и усовершенствования существующих методов повышения надежности. В такой ситуации единственным эффективным средством защиты от сбоев в работе является построение отказоустойчивых или катастрофоустойчивых систем. Существует два основных направления при построении отказоустойчивых (катастрофоустойчивых) систем. Первый способ — использование только отказоустойчивых компонентов. При реализации этого направления каждый компонент системы может продолжать свое функционирование, даже если один/несколько подкомпонентов системы, выйдут из строя. Второй способ - разработка методов, гарантирующих построение отказоустойчивой системы из компонентов, не являющихся отказоустойчивыми. В таких системах надежность и живучесть обеспечивается за счет введения как структурной, так и функциональной избыточности (т.е. наличие в структуре системы возможностей сверх тех, которые могли бы обеспечить его нормальное функционирование) и разработки специального программного обеспечения управление их структурами (в том числе реконфигурацию СТО с перестраиваемой структурой).

Всесторонний и углубленный анализ современного состояния исследований задач повышению уровня живучести и автономности СТО космического назначения при помощи реконфигурации структуры объекта, показал, что к настоящему времени рассматриваемый класс задач изучен недостаточно глубоко. На практике в основном реализуется, так называемая «слепая реконфигурация», в ходе реализации которой не учитывается текущее состояние структурной динамики объектов, а управляющее воздействия формируются заранее (до возникновения нештатных ситуаций).

В этих условиях объективно становится необходимой разработка соответствующего модельно-алгоритмического обеспечения реконфигурации

системы управления движением (СУД) КА с целью повышения уровней надежности и живучести его функционирования. При этом важными задачами становятся: автоматическое проведение реконфигурации СУД КА; рациональное перераспределение бортовых ресурсов при проведении реконфигурации СУД КА и, что особенно важно, автоматизации парирования нештатных ситуаций на борту КА.

Таким образом, тема рассматриваемой диссертационной работы А.Ю. Кулакова несомненно, является новой и актуальной, имеет важное практическое значение, т.к. непосредственно связана с одним из наиболее перспективных направлений совершенствования системы управления движением (СУД) КА в условиях нештатных ситуаций, базирующимся на ее структурно-функциональной реконфигурации.

Научная новизна и основные результаты исследований. Научная новизна полученных результатов диссертационной работы определяется следующим:

1. В диссертации проведен системный анализ, подробное содержательное и теоретико-множественное описание задачи реконфигурации СУД КА, включающие анализ основных современных подходов к решению данной задачи, обеспечивающих повышения надежности и живучести его функционирования. Разработан и обоснован оригинальный подход к решению задачи структурно-функциональной реконфигурации СУД КА, содержащий новую модель, алгоритмы и методику процесса реконфигурации СУД КА, обеспечивающий гарантированный уровень показателей эффективности и надежности функционирования КА.

2. Предложено формальное описание процесса реконфигурации СУД КА за счет варьирования рабочей конфигурации БА и переключения режимов ориентации КА. Введены структурные показатели надежности функционирования КА, которые позволяют оценить надежность объекта не только при наличии статистической информации о поведении элементов и подсистем структуры, но и, что немаловажно, при отсутствии данной информации. Впервые разработана математическая модель выбора рабочей конфигурации БА, учитывающая ограничения на суммарное энергопотребление и временной ресурс и позволяющая планировать равномерную загрузку БА с учетом ее наработки на отказ.

3. Предложены алгоритмы выбора рабочей реконфигурации СУД КА для рационального использования ресурса бортовой аппаратуры и парирования нештатных ситуаций, возникающих вследствие ее неисправности, отличающиеся от существующих алгоритмов тем, что позволяют учитывать ресурсные ограничения на борту КА и их влияние на комплексный показатель надежности БА КА.

4. Разработана оригинальная методика реконфигурации СУД КА, в рамках которой обеспечивается формирование рабочей конфигурации БА СУД без привлечения наземных средств управления КА, базирующаяся на технологии комплексного моделирования, позволяющей одновременно производить расчет плана структурно-функциональной реконфигурации БА КА и оценивание эффективности его реализации в условиях возмущающих воздействий.

Практическая значимость результатов диссертационного исследования. Практическая значимость полученных результатов состоит в том, что разработанное модельно-алгоритмическое обеспечение может послужить основой для решения важной и актуальной задачи автоматизации управления сложными техническими объектами с перестраиваемой структурой (в частности, не только для аппаратуры СУД и контура управления угловым движением, но и для других бортовых систем КА).

Разработанные модель, алгоритмы и методика реконфигурации СУД КА нашли свое применение на различных предприятиях, в частности в АО «КБ «Арсенал» при выполнении опытно-конструкторской работы по разработки алгоритмов парирования нештатных ситуаций средствами бортового комплекса управления, в Санкт-Петербургском институте информатики и автоматизации российской академии наук СПИИРАН) при исследовании процессов реконфигурации структурных состояний различных катастрофоустойчивых объектов в условиях неопределенности, в учебном процессе Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

Следует отметить, что область возможного практического использования разработанных теоретических процедур шире, чем указанная в работе. В целом предложенные модель, алгоритмы и методика позволяют перейти на новый, отвечающий современным научным и прикладным целям, уровень системных исследований процессов реконфигурации и модернизации СТО с перестраиваемой структурой в случае их возможной деградации на этапе применения. Полученные автором результаты, сформулированные положения, рекомендации и выводы являются полезными, как в научном, так и в практическом аспектах.

Достоверность и обоснованность основных результатов исследований. Решение рассмотренной в диссертации задачи выполнено с помощью корректного применения методов системного анализа, теории логико-вероятностного исчисления, методов оптимизации, методов математического моделирования. Полученные результаты хорошо согласуются с известными публикациями других авторов. Результаты диссертации опубликованы и многократно докладывались на представительных научных семинарах и конференциях.

Достоверность результатов подтверждается результатами математического моделирования, а также практическим использованием результатов при решении прикладных задач и в учебном процессе. Использованные в качестве иллюстраций примеры делают изложение наглядным и облегчают восприятие полученных автором результатов.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций диссертации А.Ю. Кулакова соответствует общепринятой в рамках специальности 05.13.01 - системный анализ, управление и обработка информации. Обоснованность результатов диссертации не вызывает сомнений.

Апробация и публикации. Диссертация написана четким научным языком и хорошо структурирована. Каждая глава содержит принципиально важные результаты научных исследований автора и заканчивается содержательными

выводами. Автореферат соответствует содержанию диссертационной работы. Полученные в диссертации результаты соответствуют поставленным целям и прошли исчерпывающую апробацию на всероссийских и отраслевых конференциях ракетно-космической отрасли. Основные результаты проведенного исследования, выводы и рекомендации отражены в автореферате и публикациях автора. Материал, содержащийся в диссертации, соответствует указанной специальности.

Недостатки диссертационной работы.

1. Согласно содержательной постановке задачи реконфигурации СУД КА объект управления функционирует в трёх режимах: штатный режим, режим «грубой» ориентации и неориентированный полёт, которым соответствуют описанные в пункте 2.2 три схемы ориентации и два режима стабилизации. Однако, остаётся неясным почему для схем ориентации строятся два полинома структурной надёжности, а для режимов стабилизации – один, при том, что режимы стабилизации соответствуют различным режимам функционирования КА.

2. В исследованиях не нашёл отражение вопрос применения алгоритма выбора рабочей конфигурации БА КА для простых монотонных структур, состоящих из небольшого числа элементов (до 7 элементов). Возможно, простой перебор всех альтернатив для выбора рабочей конфигурации БА будет эффективнее, чем решение предложенной в диссертации задачи выбора с помощью бионического подхода.

3. Учёт ограничения (2.22) на стр. 77, отражающего работоспособность технической структуры СУД КА, при реализации алгоритма выбора рабочей конфигурации БА будет включать в данную конфигурацию лишь минимальный возможный набор элементов БА. Это приведет к тому, что при выходе из строя любого элемента БА система переходит в неработоспособное состояние. С учётом изложенного остаётся непонятным, как обеспечивается сбое-отказоустойчивость при управлении функционированием КА при проведении автоматической реконфигурации на борту с помощью предлагаемой методики реконфигурации СУД КА.

4. В диссертации для оценки качества функционирования КА применяются статистические показатели, такие как коэффициент технического использования и коэффициент сохранения эффективности. Однако, автором не обосновано требуемое число статистических испытаний, которые следует провести с использованием прототипа программного комплекса.

Вместе с тем, перечисленные недостатки не влияют на общий положительный вывод о высоком научно-техническом уровне представленной к защите диссертации.

Выводы. Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, выполненную лично автором. На основе изучения диссертации, автореферата и публикаций А.Ю. Кулакова следует сделать вывод, что в диссертации сформулирована и решена важная, актуальная, новая научно-техническая задача разработки модельно-алгоритмического обеспечения

реконфигурации СУД КА для оценки эффективности функционирования КА, рационального использования бортового ресурса, автоматизации парирования нештатных ситуаций и повышения надёжности функционирования КА при нештатных ситуациях.

На основе сказанного, учитывая новизну, теоретическую и практическую значимость выполненных исследований и их достоверность, считаю, что представленная к защите диссертационная работа отвечает критериям «Положения о присуждении ученых степеней..» и соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор Кулаков Александр Юрьевич достоин присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01-системный анализ, управление и обработка информации (технические системы).

Официальный оппонент:

Кандидат технических наук,

доцент, ведущий специалист исследовательского отдела Акционерного общества «Специализированная инжиниринговая компания Севзапмонтажавтоматика»

Александр Владимирович Струков

Название организации и почтовый адрес:

Акционерное общество «Специализированная инжиниринговая компания Севзапмонтажавтоматика»

199106, Россия, г. Санкт-Петербург,

26-я линия В.О., дом 15, корпус 2, литер А,

Бизнес центр «Биржа»

Телефон: +7-921-402-19-05

Адрес эл.почты: Alexander_Strukov@szma.com

Подпись ведущего специалиста исследовательского отдела **Струкова Александра Владимировича** заверяю

Помощник генерального директора по кадрам

Ткаченко Т.М.

«24» октября 2017 г.