

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 002.199.01 НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО ИНСТИТУТА
ИНФОРМАТИКИ И АВТОМАТИЗАЦИИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК ПО ДИССЕРТАЦИИ
НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета 16.11.2017 г. № 2

О присуждении Кулакову Александру Юрьевичу, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Модель и алгоритмы реконфигурации системы управления движением космического аппарата» по специальности 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации (технические системы)» принята к защите 14 сентября 2017 г., протокол № 2 диссертационным советом Д 002.199.01 на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук, 199178, Россия, Санкт-Петербург, 14 линия ВО, дом 39, утвержден приказом Рособнадзора номер 2472-618 от 8 октября 2010 года.

Соискатель Кулаков Александр Юрьевич, 1988 года рождения, в 2010 г. окончил Федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского» Министерства обороны Российской Федерации по специальности «Автоматизированные системы обработки информации и управления» (диплом № ВСГ 5510437), в 2015 г. окончил очную аспирантуру в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Санкт-Петербургском институте информатики и автоматизации Российской академии наук. Справка об обучении в аспирантуре №16/206 от 05 июля 2017 выдана Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Санкт-Петербургским институтом информатики и автоматизации Российской академии наук. В настоящее время Кулаков Александр Юрьевич работает инженером в секторе «Систем управления движением» Акционерного общества «Конструкторское бюро «Арсенал» им. М.В. Фрунзе».

Диссертация выполнена в лаборатории информационных технологий в системном анализе и моделировании Федерального государственного бюджетного учреждения науки Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук.

Научный руководитель – доктор технических наук, доцент Павлов Александр Николаевич, основное место работы: Федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского» Министерства обороны Российской Федерации, профессор кафедры «Автоматизированные системы управления космических комплексов».

Официальные оппоненты:

МИРОНОВ Юрий Вячеславович, доктор технических наук, доцент, Акционерное общество «Научно-инженерный центр Санкт-Петербургского электротехнического университета», ведущий специалист;

СТРУКОВ Александр Владимирович, кандидат технических наук, доцент, ведущий специалист исследовательского отдела Акционерного общества «Специализированная инжиниринговая компания Севзапмонтажавтоматика», дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» в своем положительном отзыве, подписанном Охтилевым Михаилом Юрьевичем, доктором технических наук, профессором, заведующим кафедрой «Компьютерных технологий и программной инженерии» ГУАП, кандидатом технических наук, доцентом Матяш Валерием Анатольевичем и утвержденном Павловым Игорем Александровичем, кандидатом военных наук, доцентом, проректором ГУАП по административной работе и режиму, указала, что в целом диссертационная работа А.Ю. Кулакова представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу, выполненную на актуальную тему, отличается научной новизной и практической значимостью полученных результатов. Автором в диссертации сформулирована и решена важная

научно-техническая задача разработки модельно-алгоритмического обеспечения процесса реконфигурации системы управления движением космического аппарата.

Соискателем предложено формальное описание модели реконфигурации системы управления движением (СУД) космического аппарата (КА), в которой процесс структурной динамики рассмотрен как процесс изменения режима ориентации КА и рабочей конфигурации бортовой аппаратуры (БА) СУД, разработаны алгоритмы оптимального выбора рабочей конфигурации БА СУД, позволяющие учитывать текущее структурное состояние СУД КА, ограничения на потребление бортового ресурса и равномерно распределять временной ресурс БА, предложена методика проведения структурно-функциональной реконфигурации СУД КА, с помощью которой без привлечения наземных средств управления КА осуществляется комплексное и согласованное применение алгоритмов оптимального выбора рабочей конфигурации БА СУД, что позволяет увеличить значения частных показателей эффективности КА и комплексных показателей надёжности. Текст автореферата полностью соответствует содержанию диссертации. Диссертационное исследование «Модель и алгоритмы реконфигурации системы управления движением космического аппарата» является научно-квалификационной работой и соответствует критериям, изложенным в п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г., предъявляемых к кандидатским диссертациям, а его автор Кулаков Александр Юрьевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации (технические системы)».

Соискатель имеет 16 опубликованных работ, все по теме диссертации. Опубликованных в рецензируемых научных изданиях 6 работ, из них в изданиях, рекомендуемых ВАК РФ – 4.

Основные научные результаты реализованы в двух проектах отделения нанотехнологий и информационных технологий Российской академии наук, проекте Российского фонда фундаментальных исследований, научно-исследовательской работе, аванпроекте и опытно-конструкторской работе по заказу Федерального космического агентства РФ, опубликованы в 16 научных трудах общим объемом

3,83 п.л., из которых 10 статей объемом 2,08 п.л., выполнены в соавторстве, а 4 статьи объемом 1,75 п.л. – лично. Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. **Кулаков, А.Ю.** Модель оценивания расхода топлива космического аппарата с учётом нештатных ситуаций / А.Ю. Кулаков // Известия ВУЗов. Приборостроение. – 2014. – т. 57, №11 – С. 30-34

2. **Кулаков, А.Ю.** Функциональная реконфигурация чувствительных элементов СУД КА / А.Ю. Кулаков, А.Н. Павлов, Д.А. Павлов // Труды СПИИРАН. – 2013. – Вып. 5(28), – С. 169-181

3. **Игнатъев, М.Г.** Программный комплекс моделирования стабилизированного движения космического аппарата с трансформируемыми упругими элементами конструкции / М.Г. Игнатъев, В.М. Копылов, **А.Ю. Кулаков**, М.В. Сотников // Вестник СибГАУ. – 2013. – №3, – С. 45-48 *Личный вклад соискателя – 25%*.

4. **Павлов, А.Н.** Подход к исследованию структурно-функциональной реконфигурации системы управления движением космического аппарата / А.Н. Павлов, К.Л. Григорьев, С.А. Осипенко, А.А. Слинко, **А.Ю. Кулаков** // «Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского». – 2016. – Вып. 655. – С. 17-23 *Личный вклад соискателя – 50%*.

5. **Кулаков, А.Ю.** Задача выбора оптимальной конфигурации бортовых средств космического аппарата / А.Ю. Кулаков // Актуальные проблемы ракетно-космической техники: материалы четвёртой всероссийской науч.-техн. конф. – 2015. – С. 126-128

Оригинальность содержания диссертации составляет не менее 89% от общего объёма текста; цитирование оформлено корректно; заимствованного материала, использованного в диссертации без ссылки на автора либо источник заимствования, не обнаружено; научных работ, выполненных соискателем учёной степени в соавторстве без ссылок на соавторов не выявлено. Недостоверные сведения об опубликованных соискателем ученой степени работах в диссертации отсутствуют.

На автореферат диссертации поступило 7 отзывов, все отзывы положительные:

1) Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения

Императора Александра I». Отзыв составил заведующий кафедрой «Информационных и вычислительных систем», д.т.н., профессор Хомоненко А.Д. Замечания: во второй главе для моделирования было принято решение нагружать БА равномерно на протяжении всего времени работы, в реальных условиях эксплуатации оборудования могут возникать нештатные ситуации, влияющие на нагрузку в большую или меньшую сторону. В автореферате отсутствуют оценки затрат вычислительных ресурсов на реализацию разработанной методики в автоматическом режиме на борту КА, а также временных затрат на проведение аналитико-имитационного моделирования условий реализации планов структурно-функциональной реконфигурации СУД КА.

2) Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики». Отзыв составил декан факультета «Информационных технологий и программирования», д.т.н., профессор Парфёнов В. Г. Замечания: недостаточную проработанность вопросов, связанных с идентификацией сбоев (отказов) БА и локализацией нештатной ситуации на борту КА (непонятно будет ли проводится идентификация и локализация центральным бортовым вычислителем или собственными ресурсами БА); вызывает сомнение предположение автора о том, что при обеспечении равномерного расхода временного ресурса БА осуществляется максимизация общего времени работы КА; из автореферата непонятно, что сыграло решающую роль в повышении эффективности функционирования КА: автоматизация процесса реконфигурации на борту КА или применение оригинальных алгоритмов (методики) реконфигурации СУД КА.

3) Акционерное общество «Конструкторское бюро «Арсенал» имени М.В. Фрунзе». Отзыв составил начальник отдела организации и сопровождения научной деятельности, к.в.н. Борщин А.Л. Замечания: из предложенной автором аналитической модели выбора рабочей конфигурации БА СУД непонятно как осуществляется выбор рабочей конфигурации, если БА работает за пределами своего ресурса; также в автореферате не указано, что методика актуальна не для всех типов КА. Например, КА связи, функционирующие на геостационарной орбите, находятся в постоянной

радиовидимости наземных средств и в случае возникновения нештатной ситуации она может быть оперативно парирована наземным комплексом управления.

4) Федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского» Министерства обороны Российской Федерации. Отзыв составил профессор кафедры «Технологий и средств комплексной обработки и передачи информации в АСУ (войсками)», д.т.н., профессор Мануйлов Ю.С. Замечания: из автореферата не понятно, чем же отличается «жадный» алгоритм и алгоритм случайного направленного поиска (стр.14). Неясна взаимосвязь между показателем, обеспечивающих равномерный расход временного ресурса БА (в задаче выбора рабочей конфигурации БА, стр. 11) и показателем характеризующим качество функционирования КА (в обобщённой модели реконфигурации СУД КА, стр. 10). В методике структурно-функциональной реконфигурации на шаге 6 не раскрыто, как вычисляется (и кем задаётся) время повторного анализа состояния БА для восстановления штатного режима функционирования КА, что затрудняет оценку её реализуемости.

5) Общество с ограниченной ответственностью научно-производственное предприятие «Антарес». Отзыв составил генеральный директор, к.т.н., Пылаев Ю.К. Замечания: из содержания автореферата не понятно, что такое функциональная, техническая и технологическая структура КА и в чём их различие. При задании ограничения на энергопотребление простой суммой потребления структурных элементов (БА) не учитываются дополнительные потребители, которые обеспечивают работу структурных элементов СУД. Например, энергопотребление нескольких чувствительных элементов может включать в себя также энергопотребление общего блока электроники.

6) Научно-исследовательский испытательный центр (радиоэлектронной борьбы) военно-учебного научного центра военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина». Отзыв составил главный научный сотрудник, д.т.н., доцент Храмов В.Ю. Замечания: в автореферате не раскрыто понятие технического состояния КА и его отличие от структурного состояния, что приводит к двусмысленному толкованию термина состояние КА. В

автореферате не приводится оценка влияния частоты смены рабочей конфигурации СУД КА на надёжность и эффективность функционирования БА, так как слишком частое переключение БА может привести к её отказу.

7) Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный морской технический университет». Отзыв составил профессор кафедры «Судовой автоматики и измерений», д.т.н., профессор Алексеев А.В. Замечания: в автореферате не приведены результаты апробации прототипа программного комплекса для моделирования функционирования КА с учетом сбоев и отказов БА СУД, а также численного моделирования в интересах верификации полученных теоретических и практических результатов. В автореферате нет рекомендаций по обеспечению равномерного распределения временного ресурса БА, если на КА не будут возникать нештатные ситуации (сбои БА). В автореферате не представлены оценки сложности реализации разработанных в диссертации алгоритмов и методик в бортовой вычислительной системе КА, а также количественные оценки конкурентной способности и перспективности развития предложенных автором технических решений.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что д.т.н., доцент Миронов Ю.В. является ведущим ученым в области управления и навигации космических аппаратов, теории оптимального управления; к.т.н., доцент Струков А.В. – известный специалист в области структурного анализа сложных технических систем; ведущая организация, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», является известной как в России, так и за рубежом организацией в области разработки и создания бортовой аппаратуры КА, применения информационных технологий в управлении КА, а также по подготовке специалистов для предприятий ракетно-космической отрасли.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

разработано модельно-алгоритмическое обеспечение реконфигурации системы управления движением КА в целях обеспечения требуемой степени автономности и живучести, а также повышения эффективности функционирования КА;

предложено формальное описание модели реконфигурации СУД КА, в которой, *в отличие от известных*, процесс реконфигурации описан как управляемый процесс изменения структурного состояния СУД КА на основе целенаправленного поиска допустимой (либо оптимальной) рабочей конфигурации БА СУД КА и изменения режимов ориентации КА, а также рационального распределения ограниченных ресурсов КА в динамически изменяющихся условиях;

доказана необходимость применения комплексного моделирования к решению задачи реконфигурации системы управления движением КА;

перспективность использования разработанного модельно-алгоритмического обеспечения для решения задачи реконфигурации СУД КА, базирующегося на оригинальных алгоритмах и методике структурно-функциональной реконфигурации СУД КА, и ориентированного на автоматизацию восстановления работоспособности КА при возникновении нештатных ситуаций, а также на повышение эффективности функционирования как КА в целом, так и его бортовой аппаратуры;

введены операции варьирования рабочей конфигурации БА КА и режимов ориентации КА, позволяющие при решении задачи реконфигурации СУД КА повысить эффективность управления КА в условиях пространственно-временных, технических, технологических и ресурсных ограничений.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

доказаны

возможность формализации процесса реконфигурации СУД КА на основе его интерпретации как процесса управления структурной динамикой указанной системой. Представленные обобщенная теоретико-множественная и аналитическая модели процесса структурно-функциональной реконфигурации СУД КА обладают универсальностью, позволяющей учитывать динамику структурных состояний сложных технических объектов с перестраиваемой структурой (в частности, не только для аппаратуры СУД и контура управления угловым движением КА, но и для других бортовых систем КА) с целью обеспечения требуемой степени автономности и

живучести, а также повышения эффективности функционирования этими объектами и времени их активного существования;

возможность представления задачи выбора рабочей конфигурации БА КА в виде задачи нелинейного программирования с булевыми переменными, для решения которой разработаны алгоритмы на основе бионического похода, позволяющие на конструктивном уровне учитывать при формировании конфигурации БА ограниченный ресурс КА;

возможность использования методики структурно-функциональной реконфигурации СУД КА на борту современных КА, расширяющая границы применимости полученных в диссертационном исследовании результатов при автоматизации процессов управления другими бортовыми системами существующих и перспективных КА.

применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов)

использованы методологический аппарат общей теории систем и системного анализа, математический аппарат теории полета КА, методы теории логико-вероятностного исчисления, математического моделирования, теорий математического программирования, случайного поиска для разработки и использования модельно-алгоритмического обеспечения решения задачи реконфигурации СУД КА;

изложены научно-методические основы подхода к проведению реконфигурации БА КА для восстановления его работоспособности в условиях нештатных ситуаций, а также повышения эффективности функционирования бортовых систем КА, обладающих структурно-функциональной избыточностью и функционирующих в условиях дестабилизирующего воздействия факторов космического пространства;

раскрыто противоречие между сложностью управления БА КА, вызванной динамикой структурных состояний КА, разнородностью входящих в ее состав элементов и подсистем, многорежимностью функционирования КА, и уровнем управления этими активными подвижными объектами, заключающееся в отсутствии модельно-алгоритмического обеспечения решения задачи их структурно-функциональной реконфигурации, ориентированного на выявление их структурно-

функциональной избыточности и использования ее для нейтрализации воздействия негативных внешних и внутренних факторов, а также обеспечения надежности и живучести рассматриваемых в диссертации объектов в динамически изменяющихся условиях;

изучены факторы, влияющие на процесс функционирования СУД КА с целью сохранения, восстановления, повышения, либо минимального снижения уровней ее автономности и живучести при возможной деградации и/или выходе из строя элементов и подсистем БА КА.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:

разработаны и внедрены следующие результаты диссертационной работы:

1) методика структурно-функциональной реконфигурации СУД КА, алгоритмы выбора рабочей конфигурации бортовой аппаратуры СУД КА, позволяющие повысить автономность и живучесть КА и обеспечить рациональное распределение временного ресурса бортовой аппаратуры СУД КА в АО «КБ «Арсенал» в ходе выполнения научно-исследовательской работы (НИР) по теме «Перигей» (многофункциональный малый космический аппарат) и опытно-конструкторской работы (ОКР) по теме «Экипаж» в рамках разработки алгоритмов парирования нештатных ситуаций средствами бортового комплекса управления (автоматическая реконфигурация при возникновении неисправностей приборов СУД);

2) модель процесса реконфигурации СУД КА на основе системного динамического альтернативного мультиграфа, алгоритмы выбора рабочей конфигурации БА КА на основе бионического подхода, методика структурно-функциональной реконфигурации СУД при многорежимном функционировании КА в СПИИРАН при создании научно-методического и программно-математического обеспечения комплексного моделирования процесса функционирования маломассогабаритных КА (в рамках проектов №2.11 и №0073-2015-0007, гранта РФФИ №11-08-00767, СЧ НИР «Мониторинг-СГ-1.4.1-1»), которые позволили выработать обоснованные рекомендации для повышения автономности и живучести их функционирования в различных условиях обстановки;

3) модель проведения реконфигурации СУД КА, алгоритмы выбора рабочей конфигурации бортовой аппаратуры СУД КА, методика структурно-функциональной реконфигурации СУД, проводимая автоматически на борту КА внедрены в учебный процесс Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения при подготовке магистров по направлениям «Программная инженерия» и математическое обеспечение и администрирование информационных систем» в рамках учебных дисциплин «Методы оптимизации», «Методология программной инженерии» при проведении лабораторных работ и выполнении курсового проекта.

определены возможности и перспективы практического использования полученных результатов диссертации при управлении КА как с использованием наземного комплекса управления, так и в автоматическом режиме на борту КА;

создан прототип программного комплекса аналитико-имитационного моделирования функционирования КА при различных сценариях реконфигурации БА СУД;

представлены предложения и направления для дальнейших научных исследований, в основу которых могут быть положены разработанные модель, методика и алгоритмы реконфигурации СУД КА.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

достоверность полученных результатов подтверждена проведением всестороннего анализа современного состояния в области управления структурной динамикой сложных технических объектов, корректным применением научно-методического аппарата в виде использованных методов и теорий, апробацией основных результатов диссертации в печатных трудах и докладах на всероссийских и отраслевых конференциях, положительными итогами практической реализации результатов работы;

теория построена на известных принципах, проверенных данных и фактах с использованием известных современных и апробированных методов исследования, согласуется с опубликованными экспериментальными данными по теме диссертации;

идея базируется на анализе работ отечественных и зарубежных исследователей в области управления структурной динамикой сложных технических объектов, на обобщении передового опыта в сфере управления КА;

использование результатов исследований других авторов по рассматриваемой тематике проведено корректно, со ссылкой на источник заимствования;

установлено качественное и количественное соответствие результатов решения задачи поведения структурно-функциональной реконфигурации СУД КА с результатами, полученными с использованием стандартных методов реконфигурации бортовых систем КА; подтверждено преимущество решения задачи реконфигурации на основе предложенных алгоритмов и методики перед результатами, полученными другими авторами либо известными методами;

использованы современные средства объектно-ориентированного программирования для создания программного комплекса аналитико-имитационного моделирования.

Личный вклад соискателя состоит в:

- анализе степени разработанности существующих методов и подходов в области управления структурной динамикой применительно к такому классу сложных технических объектов как космические аппараты;
- исследовании существующих подходов к реконфигурации бортовых систем КА, восстановлению их работоспособности посредством реконфигурации;
- содержательной и формальной постановке задачи проведения реконфигурации СУД КА за счёт смены режимов ориентации и конфигурации БА СУД КА;
- постановке задачи выбора рабочей конфигурации БА СУД КА как задачи булева нелинейного программирования;
- разработке методики структурно-функциональной реконфигурации СУД КА;
- разработке алгоритмов выбора рабочей конфигурации БА на основе бионического подхода с использованием «жадного» алгоритма и алгоритма случайного направленного поиска;

- исследовании предложенной методики и алгоритмов с использованием разработанного автором программного комплекса аналитико-имитационного моделирования функционирования КА при различных сценариях реконфигурации БА СУД КА;

- подготовке основных публикаций по выполненной работе.

Диссертационный совет считает, что Кулаков А.Ю. в своей диссертационной работе решил актуальную научно-техническую задачу разработки модельно-алгоритмического обеспечения реконфигурации СУД КА, имеющую важное значение для рационального использования бортового ресурса, парирования нештатных ситуаций и повышения эффективности функционирования КА в динамически изменяющейся обстановке.

На заседании 16.11.2017 г. диссертационный совет принял решение присудить Кулакову А.Ю. ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 22 человек, из них 7 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 26 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за 22, против нет, недействительных бюллетеней нет.

Председатель диссертационного совета
доктор технических наук
член-корреспондент

Юсупов Рафаэль Мидхатович

Ученый секретарь
кандидат технических наук
16.11.2017 г.

Зайцева Александра Алексеевна