

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ИНСТИТУТ ИНФОРМАТИКИ И АВТОМАТИЗАЦИИ РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ НАУК
(СПИИРАН)**

199178 Санкт-Петербург, 14 линия, д. 20. Тел.: (812) 329-0011

E-mail:

ОКПО 04683303,

АЮ”

I

Юсупов Р.М.

017 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации
Российской академии наук

Диссертация «Модель и алгоритмы реконфигурации системы управления движением космического аппарата» выполнена в лаборатории информационных технологий в системном анализе и моделировании Федерального государственного бюджетного учреждения науки Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН).

В период подготовки диссертации соискатель Кулаков А.Ю. работал в Акционерном обществе «Конструкторское бюро «Арсенал» имени М.В. Фрунзе» инженером 2 категории.

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».

В 2015 г. окончил очную аспирантуру Федерального государственного бюджетного учреждения науки Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук.

Справка об обучении в аспирантуре №16/206 от 05 июня 2017 года, выдана Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Санкт-Петербургским институтом информатики и автоматизации Российской академии наук.

Научный руководитель – 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, кафедра «Автоматизированные системы управления космических комплексов», профессор.

По результатам рассмотрения диссертации «Модель и алгоритмы реконфигурации системы управления движением космического аппарата» принято следующее заключение:

1. В диссертационной работе Кулаков А.Ю. рассматривает в рамках развиваемой в настоящее время теории управления структурной динамикой сложных технических объектов (СТО) вопросы повышения автономности, живучести и эффективности функционирования космического аппарата (КА) наблюдения (дистанционного зондирования Земли). Учитывая особенности функционирования КА наблюдения, особую актуальность для достижения указанных целей приобретает решение задач автоматического проведения структурно-функциональной реконфигурации системы управления движением (СУД) КА (процесс изменения рабочей конфигурации бортовой аппаратуры (БА) и режима ориентации СУД), рационального перераспределения бортовых ресурсов и парирования нештатных ситуаций, возникающих вследствие появления сбоев и отказов бортовых средств. В диссертации разработана аналитико-имитационная модель проведения реконфигурации СУД КА, алгоритм выбора рабочей конфигурации БА при изменении структуры системы управления, а также методика проведения реконфигурации СУД при реализации альтернативных режимов ориентации КА. Данные алгоритмы и методика могут быть реализованы в виде программных модулей бортового вычислительного комплекса КА.

2. Диссертационная работа Кулакова А.Ю. состоит из 4 разделов. В первом разделе представлен анализ современного состояния в области исследований управления структурной динамикой СТО, формализована модель реконфигурации системы управления угловым движением КА. Во втором разделе выбран математический аппарат, позволяющий осуществлять управление структурной динамикой с учётом многорежимности функционирования КА, а также приведена аналитическая модель выбора рабочей конфигурации БА. В третьем разделе представлена методика реконфигурации СУД КА и алгоритмы выбора рабочей конфигурации БА. В четвёртом разделе проведено аналитико-имитационное моделирование реконфигурации СУД КА с помощью разработанного прототипа программного комплекса «Реконфигурация».

В работе лично Кулаковым А.Ю. получены **следующие результаты**: (1) модель процесса реконфигурации СУД КА на основе системного динамического альтернативного мультиграфа, (2) алгоритмы выбора рабочей конфигурации бортовой аппаратуры космического аппарата на основе бионического подхода, (3) методика структурно-функциональной реконфигурации СУД КА при многорежимном функционировании КА.

3. **Достоверность полученных результатов** обеспечивается предварительным анализом существующих исследований в области управления структурной динамикой, рассмотрения ранее предложенных технологий «стандартной» реконфигурации применительно к различным СТО. Результаты

проведенного анализа использовались при содержательной и формальной постановке задачи. Полученные практические положения находятся в непротиворечивом состоянии с результатами актуальных работ исследовательского сообщества. Основные теоретические положения изложены в печатных трудах и докладах на научных конференциях и семинарах.

4. **Новизна** полученных автором результатов диссертационного исследования заключается в формализации модели изменения структурных состояний КА для решения задач реконфигурации контура управления КА с учётом изменения технического состояния БА, переключения режимов функционирования КА, рационального распределения расхода бортового ресурса и парирования нештатных ситуаций. Предложены оригинальные алгоритмы решения нелинейной дискретной задачи математического программирования на основе эвристического и бионического подходов.

5. **Практическая ценность** работы в том, что полученные теоретические результаты позволяют проводить на этапе проектирования оценивание влияния структурной динамики на эффективность функционирования КА, обоснованное перераспределение задач между наземным и бортовым комплексом управления, а также продемонстрировать скрытые возможности автоматической реконфигурации. Разработанные в рамках данного исследования методика и алгоритмы в дальнейшем на практике могут быть реализованы на предприятиях промышленности при подготовке проектных решений в части автоматизации управления аппаратурой и ресурсами КА. Одним из основных преимуществ, предложенных в диссертации методики и алгоритмов реконфигурации бортовых систем, является то, что их внедрение, как показали исследования, повышает эффективность и живучесть функционирования КА в аварийных и кризисных ситуациях по сравнению с традиционными подходами к проведению реконфигурации рассматриваемых бортовых систем. Кроме того, разработанное модельно-алгоритмическое обеспечение обладает достаточной степенью универсальности и может использоваться не только для приборов, рассматриваемых в данной работе, но и в целом для всей БА КА.

6. **Предложенные в диссертационной работе** модель, алгоритмы и методика использовались в СПИИРАН в рамках выполнения СЧ ОКР «Разработка комплекса методик и программных средств для оценки надежности бортовой аппаратуры маломассогабаритных космических аппаратов при ее проектировании, наземных испытаниях и эксплуатации» (шифр «Мониторинг-СГ»), СЧ ОКР «Разработка методик и алгоритмического обеспечения системы комплексного моделирования транспортно-энергетического модуля для расчета и анализа показателей его надежности и живучести». Предложенные алгоритмы и методика использовались в рамках ОКР «Разработка алгоритмов парирования нештатных ситуаций средствами бортового комплекса управления (БКУ)» (шифр «Экипаж»), а также в аванпроекте по теме «Перигей» (многофункциональный малый космический аппарат) в АО «КБ «Арсенал». В Санкт-Петербургском государственном университете аэрокосмического приборостроения (ГУАП) разработанные модели, методика и алгоритмы реконфигурации СУД КА были внедрены в учебный процесс и использовались при проведении различных видов занятий со специалистами и магистрами по направлениям подготовки:

«Информатика и вычислительная техника», «Программная инженерия», «Системный анализ и управление».

7. Диссертационная работа соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней и пп. 2, 4, 5, 10 Паспорта специальностей ВАК (технические науки) по специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (технические науки)».

8. Автор имеет шестнадцать публикаций в научных изданиях, из которых четыре в рецензируемых журналах из перечня ВАК. Основные публикации по теме диссертации:

Публикации в журналах, входящих в перечень ВАК:

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

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

Другие публикации:

1. Кулаков, А.Ю. Влияние сбоев и отказов системы управления движения на топливный ресурс космического аппарата и его срок активного существования / А.Ю. Кулаков // Инновационный арсенал молодёжи: труды пятой науч.-техн. конф. – 2014. – С. 139-142

2. 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

3. Павлов, А.Н. Структурная реконфигурация сложных объектов / А.Н. Павлов, В.А. Зеленцов, А.Ю. Кулаков // Журнал «Труды международного симпозиума надёжность и качество». – 2012. – С. 146-148

4. Павлов, А.Н. Об оценках структурной устойчивости монотонной системы / А.Н. Павлов, А.В. Панькин, А.Ю. Кулаков // Кибернетика и высокие технологии: материалы XIII междунар. науч.-техн. конф. – 2012. – С. 22-31

5. Павлов, А.Н. Динамическая модель управляемой реконфигурации дистрибуционной сети цепи поставок / А.Н. Павлов, Б.В. Соколов, Д.А. Иванов, А.Ю. Кулаков // Логистика: современные тенденции развития: материалы XI Междунар. науч.-практ. конф. – 2012. – С. 249-252

6. Павлов, А.Н. Способ формализованного описания и анализа структур

сложных объектов / А.Н. Павлов, А.Ю. Кулаков, А.В. Войтович // Материалы конференции «Информационные технологии в управлении» (ИТУ-2012). – 2012. – С. 317-320.

7. Павлов, А.Н. Направления решения проблемы планирования структурно-функциональной реконфигурации сложных объектов / А.Н. Павлов., А.Ю. Кулаков, А.В. Войтович, Д.А. Павлов // XIII Санкт-Петербургская международная конференция «Региональная информатика (РИ-2012)» . – 2012. – С. 48

8. Павлов, А.Н. Многокритериальный анализ критичности отказов функциональных элементов общесудовых систем и канализации электроэнергии судна / А.Н. Павлов, А.Ю. Кулаков, Д.А. Павлов // Первая научно-практическая конференция «Современные технологии автоматизации процессов борьбы за живучесть». – 2012. – С. 72-73

9. Павлов, А.Н. Методология и технологии многокритериального анализа критичности отказов функциональных элементов общесудовых систем / А.Н. Павлов, А.Ю. Кулаков, Д.А. Павлов // Вторая международная научно-практическая конференция «Имитационное и комплексное моделирование морской техники и морских транспортных систем». – 2013. – С. 78-85

10. Копылов, В.М. Автоматическая диагностика и реконфигурация бортовых систем космического аппарата на основе телеметрических данных / В.М. Копылов, А.Ю. Кулаков // Инновационный арсенал молодёжи: труды пятой науч.-техн. конф. – 2014. – С. 143-145

11. Кулаков, А.Ю. Повышение эффективности функционирования КА ДЗЗ за счёт структурного и функционального резерва / А.Ю. Кулаков // Инновационный арсенал молодёжи: труды четвёртой науч.-техн. конф. – 2013. – С. 139-142

12. Pavlov, A.N Complex modeling of the structural-functional reconfiguration of supply chain / A.N. Pavlov, B.V. Sokolov, V.A. Zelentsov, A.Yu. Kulakov, D.A. Ivanov // Proceedings of the 12th International Conference “Reliability and Statistics in Transportation and Communication” (RelStat’12). – 2012. – P. 261-265

В работах [1], [2] описывается предложенная Кулаковым А.Ю. формальная модель решения задачи реконфигурации СУД КА. В работах [4],[7] рассмотрен подход к формализации процесса структурной динамики на основе общего логико-вероятностного метода. Основные элементы методики проведения реконфигурации СУД КА, а также алгоритмы выбора рабочей конфигурации БА приведены в [2], [4], [6]. В [3] представлен комплекс аналитико-имитационного моделирования функционирования КА. В работе [5] проводится аналитико-имитационное моделирование процесса реконфигурации на борту КА.

Диссертация «Модель и алгоритмы реконфигурации системы управления движением космического аппарата» Кулакова Александра Юрьевича рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации (технические системы)».

Заключение принято на расширенном заседании лаборатории информационных технологий в системном анализе и моделировании и лаборатории биомедицинской информатики.

Присутствовало на заседании 9 чел.

Результаты голосования: «за»- 9 чел., «против» - 0 чел., «воздержалось» - 0 чел., протокол №1 от «15» июня 2017 г.

Заключение составил:

заведующий лаборатории биомедицинской информатики
доктор технических наук профессор

дницкий

Секретарь заседания:
старший научный сотрудник
системном анализе и моделирова
кандидат технических наук

ехнологий в

грясаев