



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
**«Санкт-Петербургский  
государственный университет  
аэрокосмического приборостроения»  
(ГУАП)**

ул. Большая Морская, д.67, лит. А, Санкт-Петербург, 190040  
Тел. (812) 710-6510, факс (812) 494-7057  
E-mail: common@aanet.ru

ОГРН 1027810232680, ИНН/КПП 7812003110/78380100

31.10.2017 № 74-2045/17

На № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

**УТВЕРЖДАЮ**  
Проректор Санкт-Петербургского  
государственного университета  
аэрокосмического приборостроения  
по административной работе и режиму,  
кандидат военных наук, доцент

И.А. Павлов

«31» октября 2017 г.

## О Т З Ы В

ведущей организации о диссертационной работе

**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)»

### I. Актуальность темы диссертации

Анализ современных тенденций развития сложных технических объектов (СТО) с перестраиваемой структурой показывает, что данные объекты имеют целый ряд особенностей, среди которых в первую очередь стоит выделить: структурную сложность, подобие и избыточность основных элементов и подсистем СТО, связей между ними, многовариантность реализации функций управления, а также многорежимность их функционирования. В тоже время важнейшим стратегическим направлением развития СТС является обеспечение непрерывности протекающих в них технологических и информационных процессов и повышение устойчивости функционирования СТО. Это обусловлено возрастающими требованиями со стороны общества к качеству работы СТО в различных условиях неблагоприятного воздействия внешних и внутренних факторов как естественного, так и искусственного (инспирированного человеком) характера.

В последнее время большую актуальность приобретают вопросы, связанные с управления структурной динамикой таких объектов. Задачи управления структурной динамикой СТО по своему содержанию относятся к классу задач структурно-функционального синтеза облика СТО и формирования соответствующих программ управления их функционированием. К настоящему времени этот класс задач исследован не достаточно хорошо. Однако, из многочисленных публикаций и практики известно, что с помощью различных вариантов управления структурной динамикой СТО, таких как управление резервами, реконфигурация структур, изменение способов и целей функционирования СТО можно достичь не только безопасного, катастрофоустойчивого функционирования СТО, но и обеспечить наилучшие варианты деградации объекта управления или повысить эффективности его применения.

В диссертационной работе Кулакова А.Ю. рассматривается яркий пример задачи управления структурной динамикой СТО – задача реконфигурации системы управления

движением (СУД) космического аппарата (КА). КА различного назначения (научного, военного, коммерческого) играют передовую роль в научно-техническом прогрессе, а обеспечение эффективного управления их функционированием является ещё и важной практической задачей. Всесторонний и углубленный анализ современного состояния исследований по данной тематике, проведенный соискателем в диссертации показал, что все ранее известные подходы к решению задачи структурного управления КА могут быть отнесены к так называемой «слепой» реконфигурации. При реализации «слепой» реконфигурации не проводится: учёт и анализ текущих характеристик решаемых на КА задач и выполняемых функций; анализ и оценивание структурного состояния КА; оперативный расчёт, оценивание и анализ ресурсных возможностей КА для обоснованного перераспределения функций бортовых систем между её работоспособной аппаратурой и другими системами.

Предложенная диссертантом оригинальная интерпретация процесса реконфигурации на борту КА как изменением его структурного состояния за счёт варьирования включаемой в контур управления бортовой аппаратуры (БА) (рабочей конфигурации БА) и изменение режимов ориентации КА, а также учёт ресурсных ограничений при переходе в заданное структурное состояние КА является логическим продолжением разрабатываемого в настоящее время структурно-функционального подхода к проведению реконфигурации сложных объектов. Таким образом, в диссертации фактически разработаны средства формализации, которые позволили на конструктивной основе (через показатели эффективности) связывать процессы реконфигурации КА с процессами его целевого применения.

Все вышеизложенное позволяет сделать вывод о том, что тема диссертационной работы Кулакова А.Ю., посвященная разработке модельно-алгоритмического обеспечения процесса реконфигурации СУД в целях повышения эффективности функционирования КА, является, несомненно, актуальной научно-технической задачей, а ее решение имеет существенное значение для науки и практического применения в ракетно-космической отрасли.

## II. Научная новизна и основные результаты исследований

Научная новизна диссертации заключается в разработке модельно-алгоритмического обеспечения процесса реконфигурации СУД КА, в основу которого положены общесистемные принципы и способы аналитико-имитационного описания рассматриваемой предметной области, методы логико-вероятностного исчисления, методы и алгоритм теории оптимизации.

В целом научную новизну рецензируемой диссертации составляют следующие положения.

1. В диссертации проведен системный анализ структурной динамики СТО, включающий анализ основных современных подходов к решению задачи реконфигурации систем управления СТО космического назначения. Представлено подробное содержательное и теоретико-множественное описание задачи реконфигурации СУД КА с учётом динамического влияния структурного состояния КА на характеристики его функционирования. Разработан и обоснован подход к решению задачи структурно-функциональной реконфигурации СУД КА, обеспечивающий повышение эффективности функционирования КА.

2. Предложено формальное описание процесса реконфигурации СУД КА за счет варьирования рабочей конфигурации БА и изменение режимов ориентации КА. Введены показатели надежности структурного построения технической системы, с помощью которых осуществляется оценивание процесса синтеза нового структурного состояния как для деградационных, так и для восстановительных процессов. Впервые разработана математическая

модель выбора рабочей конфигурации БА КА, учитывающая энергопотребление и позволяющая рационально расходовать временной ресурс БА КА.

3. Предложены алгоритмы выбора рабочей конфигурации БА СУД КА на основе бионического подхода, которые позволяют организовать парирование нештатных ситуаций средствами бортового комплекса управления (БКУ).

4. Разработана оригинальная методика реконфигурации СУД КА, в рамках которой осуществляется выбор режима ориентации КА без привлечения наземных средств управления КА для повышения эффективности функционирования КА.

### III. Практическая ценность результатов исследований

Разработанное модельно-алгоритмическое обеспечение решаемой в диссертации задачи позволяют перейти на новый, отвечающий современным научным и прикладным целям, уровень автоматизации процессов управления функционированием КА в условиях возникновения сбоев и отказов БА.

Практическая ценность диссертационного исследования состоит в том, что полученные теоретические результаты в целом доведены до уровня разработки методического, алгоритмического и программного обеспечения, получившего всестороннюю реализацию в виде взаимосвязанных модели, методики и алгоритмов решения задачи структурно-функциональной реконфигурации СУД КА.

На предприятии ракетно-космической отрасли, в АО «КБ «Арсенал» в рамках выполнения опытно-конструкторской работы по теме «Экипаж» и аванпроекте по теме «Перигей» (многофункциональный малый космический аппарат) с использованием предлагаемого подхода были разработаны алгоритмы парирования нештатных ситуаций средствами БКУ (автоматическая реконфигурация при возникновении неисправностей БА СУД), что обеспечило повышенную сбое- и отказоустойчивость КА.

В СПИИРАН в рамках проекта программы фундаментальных исследований ОНИТ РАН «Комплексное моделирование, многокритериальное оценивание и анализ рисков при выработке управленческих решений в катастрофоустойчивой информационной системе», гранта РФФИ «Теоретические и экспериментальные исследования процессов реконфигурации структурных состояний катастрофоустойчивых объектов в условиях неопределенности», СЧ ОКР по темам «Разработка комплекса методик и программных средств для оценки надежности бортовой аппаратуры маломассогабаритных космических аппаратов при ее проектировании, наземных испытаниях и эксплуатации» и «Разработка методик и алгоритмического обеспечения системы комплексного моделирования транспортно-энергетического модуля для расчета и анализа показателей его надежности и живучести» были реализованы результаты диссертационного исследования.

В ГУАП при подготовке специалистов и магистров по направлениям «Информатика и вычислительная техника», «Программная инженерия», «Системный анализ и управление» были широко использованы и внедрены модельно-алгоритмическое и методическое обеспечение структурно-функциональной реконфигурации СУД КА в учебный процесс.

Особо стоит отметить, что в связи с тенденцией миниатюризации КА исследования диссертанта, связанные с вопросами структурного управления для класса малых КА (МКА), имеют дополнительную практическую ценность. В последние годы появился целый ряд аналогичных исследований проблемы управления восстановлением работоспособности БС МКА, базирующийся на байпасном подходе.

Разработанное автором модельно-алгоритмическое обеспечение позволяет решать задачи автоматического и/или автоматизированного управления восстановлением работоспособности КА при возникновении нештатных ситуаций на борту КА с помощью реконфигурации СУД КА.

#### IV. Достоверность и обоснованность основных результатов исследований

Основные положения, выводы и рекомендации, полученные в диссертации, достаточно обоснованы и аргументированы. Сформулированная в диссертации задача была исследована и решена на основе корректного использования фундаментальных концепций, принципов и подходов, используемых в системном анализе, общей теории систем, алгебры логики и теории вероятностей, математическом моделировании, теории принятия решений.

Достоверность основных выводов и результатов диссертации подтверждается:

- подробным сравнительным анализом, изложенным в главе I диссертации предшествующих научных изысканий в области структурного управления СТО, их достоинств и недостатков, а также преемственностью основных научных положений, сформулированных автором;
- корректностью предложенных математических моделей и алгоритмов и апробацией основных теоретических положений диссертации в печатных трудах, докладах на научно-технических и отраслевых конференциях;
- согласованностью результатов, полученных с использованием положений, изложенных в диссертации, как с данными имитационного моделирования проведённого автором диссертации, так и с данными других исследований по аналогичной тематике (например, работы коллектива из АО «РКЦ «Прогресс» Ахметова Р.Н., Макаров В.П., Кирилин А.Н.)
- положительными результатами внедрения основных научных положений диссертации в различных предметных областях.

#### V. Апробация и публикации

Результаты исследований автора прошли всестороннюю апробацию на всероссийских и отраслевых конференциях, симпозиумах и семинарах.

По тематике диссертации автором опубликовано 16 научных работ, в том числе 4 статьи в периодических журналах, рекомендованных ВАК.

Диссертационная работа в целом имеет законченный характер, достаточно подробно проиллюстрирована. Автореферат диссертации в целом отражает ее содержание.

Тема диссертации соответствует профилю специальности 05.13.01 - «Системный анализ, управление и обработка информации».

#### VI. Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Проведенные в диссертации исследования необходимо продолжить в направлении расширения практических возможностей разработанных модели, методики и алгоритмов в рамках следующих основных направлений.

Разработанное модельно-алгоритмическое обеспечение и программный комплекс с некоторыми доработками целесообразно рекомендовать к использованию в организациях,

занимающихся космическим аппаратостроением, в частности для крупнейших предприятий ракетно-космической отрасли АО «Ракетно-космический центр «Прогресс» (г. Самара), АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнёва» (г. Красноярск), АО «Научно-производственное объединение им. С. А. Лавочкина» (г. Москва).

Методика и алгоритмы решения задачи реконфигурации СУД КА целесообразно применять при автоматизации процесса восстановления работоспособности за счёт реконфигурации бортовых систем КА в организациях, занимающихся проектированием и разработкой бортовых систем КА: ФГУП «Московское опытно-конструкторское бюро «Марс», АО «Научно-производственное объединение автоматики имени академика Н. А. Семихатова», ООО «Научно-производственное предприятие «Антарес».

Предложенные теоретические и методологические разработки могут быть использованы при подготовке учебно-методических комплексов в высших учебных заведениях по дисциплинам «Системный анализ», «Теория принятия решений», «Информатика и вычислительная техника», «Бортовой комплекс управления» для обеспечения учебных планов специальности «Автоматизированные системы обработки информации и управления», а также по дисциплинам «Системы наведения инерциальными навигационными системами летательных аппаратов», «Системы искусственного интеллекта и принятия решений» для специальности «Динамика полёта и управление летательными аппаратами».

## VII. Недостатки диссертации

1. В предложенной в диссертации аналитико-имитационной модели не рассматриваются динамика углового движения КА и связанные с ней физические процессы, происходящие при переключении БА СУД. Тем самым при восстановлении работоспособности КА не учитывается время на изменение структурного состояния СУД.

2. В диссертации и автореферате отсутствуют анализ затрат вычислительных ресурсов для двух случаев: реализации разработанных автором алгоритмов и решения задачи выбора рабочей конфигурации БА СУД посредством вычисления всех возможных комбинаций.

3. К сожалению, автором недостаточно полно раскрыт физический смысл показателя равномерного распределения временного ресурса БА (л. 77, 91 диссертации) в аналитической модели реконфигурации СУД. На наш взгляд следовало бы исследовать критериальную функцию (формула 2.21) на монотонность и непрерывность.

4. В четвёртой главе диссертации представлены результаты моделирования реконфигурации СУД для различных сценариев управления функционированием КА. Однако, не нашёл отражения сценарий, при котором использование предложенной автором методики структурно-функциональной реконфигурации осуществлялось с применением средств наземного комплекса управления.

Указанные замечания не снижают общей ценности диссертации и в целом не влияют на главные теоретические и практические результаты диссертации. Замечания носят рекомендательный характер и могут быть учтены автором в дальнейших исследованиях по данной теме.

## VIII. Вывод

В целом диссертация Кулакова А.Ю. представляет собой завершённую научно-исследовательскую работу, выполненную на актуальную тему, отличается научной новизной и практической значимостью полученных результатов.

В диссертации сформулирована и решена важная научно-прикладная задача разработки модельно-алгоритмического обеспечения реконфигурации СУД КА для рационального использования бортового ресурса, парирования нештатных ситуаций и повышения эффективности функционирования КА.

Диссертантом разработана совокупность теоретических и методических решений, внедрение которых можно рассматривать как вклад в развитие научного направления, связанного с автоматизацией, повышением качества процесса управления структурной динамикой и эффективности функционирования таких сложных технических объектов как космические аппараты. По каждой главе и работе в целом имеются выводы. Основные этапы работы, выводы и результаты представлены в автореферате. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации. Диссертация отвечает критериям «Положения о присуждении ученых степеней» и соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Кулаков А.Ю. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 - «Системный анализ, управление и обработка информации (технические системы)».

Диссертационная работа и отзыв обсуждены и одобрены на заседании кафедры 43 «Компьютерных технологий и программной инженерии» ГУАП, протокол №03/2017-18 от «19» октября 2017 г.

Заведующий кафедрой 43

Доктор технических наук, профессор

Охтилев Михаил Юрьевич

Доцент кафедры 43

Кандидат технических наук, доцент

Матьяш Валерий Анатольевич

### **Сведения о составителях отзыва:**

ФИО: Охтилев Михаил Юрьевич

Учёная степень: Доктор технических наук

Учёное звание: профессор

Место работы: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения (ГУАП)»

Почтовый адрес: ул. Большая морская, д. 67, лит. А, Санкт-Петербург, 190000

Телефон: 8 (812) 494-70-43

Адрес электронной почты: oxt@mail.ru