



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
"КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО "АРСЕНАЛ" ИМЕНИ М.В. ФРУНЗЕ"  
(АО "КБ "АРСЕНАЛ")

УТВЕРЖДАЮ

Первый заместитель  
генерального директора



А.И. Шевкунов

 2019 г.

## ОТЗЫВ

ведущей организации

Акционерного общества "Конструкторское бюро "Арсенал" имени М.В. Фрунзе" на диссертационную работу Охтилева Павла Алексеевича на тему "Алгоритмы и онтологические модели информационно-аналитической поддержки процессов создания и применения космических средств", представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (технические системы)

### ***Актуальность темы диссертационного исследования.***

На сегодняшний день не вызывает сомнений экономическая целесообразность качественной трансформации процессов производства и применения современных сложных изделий посредством внедрения новых информационных технологий.

В рамках такой общезначимой мировой тенденции к всесторонней автоматизации представители ракетно-космической отрасли РФ также осознают необходимость сквозной цифровизации технологического цикла создания и применения различных космических комплексов и средств.

Этот факт подтверждается Стратегией цифровой трансформации ракетно-космической отрасли в поставленных задачах по цифровизации производства и жизненного цикла изделий, формированию единого информационного пространства безбумажного документооборота, созданию распределенной сети вычислительных центров для реализации потребностей отрасли по аналитическому компьютерному моделированию, разработке виртуальных двойников изделий, компьютеризации системы информации о техническом состоянии и надежности космических комплексов и входящих в их состав изделий. Также об этом свидетельствуют бурно развивающиеся научные направления в сфере формализации решения различных прикладных научно-технических задач, связанных с автоматизацией тех или иных аспектов проектирования, производства и эксплуатации космических комплексов и средств.

В связи с этим, с одной стороны, имеет место накопление существенных объемов структурированных и слабоструктурированных данных, являющихся результатами функционирования внедряемых специализированных автоматизированных систем различного вида, а с другой – несмотря на автоматизацию решения множества частных задач, многие из них всё ещё решаются специалистами вручную на основе их знаний и опыта.

В частности, в задаче информационно-аналитического обеспечения заинтересованных организаций актуальной и достоверной информацией о техническом состоянии космических средств на каждом из этапов их жизненного цикла соответствующая деятельность зачастую сводится к обработке и анализу больших массивов данных в ручном режиме с последующим формированием отчетной документации, пересылаемой по регламенту в замкнутом контуре участников упомянутой ранее системы информации.

При этом вследствие структурного многообразия и многовариантности видов представления продуцируемой информации и, соответственно, сложности её обработки и анализа в рамках коопераций организаций и предприятий, участвующих в процессах создания и применения космических средств, затруднен доступ к наиболее полной информации о техническом

состоянии таких изделий, особенно в части его оперативности и полноты учета семантики, связанной с обрабатываемыми данными.

В этих условиях одним из актуальных направлений исследований является разработка формальных моделей и алгоритмов сбора, обобщения, приведения к единому виду, обработки и многомерного анализа такой информации с целью оценивания технического состояния космических средств на всех этапах их жизненного цикла. Данной важной и актуальной теме и посвящена диссертация Охтилева П.А.

***Научная новизна результатов диссертационного исследования.***

В рамках диссертационной работы соискателем сформулированы полученные им новые научные и технические результаты, выводы и рекомендации, имеющие высокую теоретическую и практическую значимость для ракетно-космической отрасли. К числу новых научных результатов можно отнести следующие:

1. Разработана оригинальная онтологическая система информационно-аналитической поддержки жизненного цикла космических средств, в значительной степени отличающаяся от других моделей формализации экспертных знаний конструктивным подходом к идентификации и специфицированию различных типов требований к облику информационно-аналитического программного комплекса с определением порядка его формирования.

2. Разработана новая онтология бизнес-процессов информационно-аналитической поддержки жизненного цикла специального вида, отличающаяся от других моделей концептуализации наличием выразительности, связанной с определением совокупности взаимосвязанных моделей процессов оценивания технического состояния космических средств для всех этапов их жизненного цикла с использованием графической нотации в виде формальных поведенческих требований к программам.

3. Разработана новая онтология согласованных вычислительных задач информационно-аналитической поддержки жизненного цикла космических средств, ориентированная на определение функциональных требований к семантической интеграции данных и их обработке и анализу.

4. Разработаны новые алгоритмы верификации моделей информационно-аналитической поддержки, а также алгоритм синтеза вычислительных моделей по спецификациям требований, позволяющие корректно осуществить инвариантный переход к схемам программ, отвечающим в необходимой степени по своим качественным характеристикам исходно поставленным требованиям.

5. Разработана новая оригинальная методика оценивания функциональной эффективности информационно-аналитической поддержки жизненного цикла космических средств, отличающаяся от других учетом порядка расчетов её существенных частных показателей в соответствии со спецификой решаемой научно-технической задачи.

***Значимость полученных автором диссертации результатов для науки и практики.***

Результаты, отмеченные соискателем в диссертации, характеризуются высокой степенью теоретической и практической значимости для ряда отраслей технических наук и сфер применения их теорий и методов, к которым прежде всего следует отнести:

1. Системный анализ в следующих аспектах:

- применение теории системного моделирования при формализации информационно-аналитических процессов поддержки жизненного цикла сложных организационно-технических объектов;
- системный подход к анализу и синтезу полимодельных комплексов информационно-аналитической поддержки жизненного цикла сложных организационно-технических объектов;
- разработка алгоритмов, методики и применение теории квалиметрии и верификации моделей и полимодельных комплексов информационно-аналитической поддержки жизненного цикла сложных организационно-технических объектов;
- применение методов агрегирования и декомпозиции при разработке комплекса моделей процессов информационно-аналитической поддержки жизненного цикла сложных организационно-технических объектов;

- применение методов имитационно-аналитического моделирования и теории распознавания образов при оценивании технического состояния сложных организационно-технических объектов на всех этапах их жизненного цикла.

## 2. Информатику при разработке, а также применении:

- формальных подходов к специфицированию и инженерии требований, программной инженерии информационно-аналитических систем;

- теории искусственного интеллекта при извлечении, представлении, компьютерном моделировании и использовании экспертных знаний;

- методов семантической интеграции данных, формирования единого информационного пространства и теории баз данных при решении задач интеграции данных предприятий;

- вычислительного моделирования распределенных информационно-аналитических систем с потоковым параллельным и асинхронным режимом вычислений;

- теории алгоритмов и вычислительных систем при синтезе аналитических вычислительных моделей и их схем программ с организацией вычислений по ним.

## 3. Ракетно-космическое машиностроение и космонавтику в задаче информационно-аналитического обеспечения процессов параллельного инжиниринга, создания, испытаний и эксплуатации сложных технических систем в виде космических средств.

Теоретическая значимость диссертационного исследования заключается в формальном обосновании возможности автоматизации информационно-аналитической поддержки жизненного цикла космических средств посредством разработанного модельно-алгоритмического обеспечения, предполагающего извлечение, формализацию и тиражирование предметно-ориентированных экспертных знаний, а также формирование кооперации распределенных интеллектуальных агентов на их основе в виде семантически связанных программ исполнения информационно-аналитических процессов, охватывающих все этапы жизненного цикла космических средств.

Практическая значимость результатов диссертационного исследования характеризуется получением следующего эффекта при применении разработанного модельно-алгоритмического комплекса:

- повышение функциональной эффективности информационно-аналитической поддержки жизненного цикла космических средств до 26%, в том числе, посредством оптимизации показателей оперативности и достоверности результатов анализа информации об их техническом состоянии и степени её интегрированности при формировании единого информационного пространства организаций – участников системы информации о техническом состоянии и надежности космических средств за счет реализации мультиагентной архитектуры совокупности семантически интероперабельных потоковых программ информационно-аналитического обеспечения;

- повышение уровня автоматизации и конструктивизация процесса проектирования распределенных информационно-аналитических систем за счет применения комплексного моделирования уже на этапе выявления требований к создаваемому программному комплексу и их последовательного уточнения в виде формализованных спецификаций на основе предметно-ориентированных экспертных знаний;

- повышение степени соответствия информационно-аналитического программного обеспечения исходным требованиям за счет разработки алгоритмов верификации и синтеза инвариантных исходным требованиям схем программ.

***Достоверность и степень обоснованности результатов диссертационного исследования.***

Результаты, выводы и рекомендации, представленные в диссертационной работе Охтилева П.А., аргументированы, достаточно обоснованы и достоверны, что может быть подтверждено как степенью детализации и глубиной проведенного исследования, так и обоснованным и корректным применением различных методологий, концепций и междисциплинарного подхода, базирующегося на фундаментальных положениях таких научных отраслей, как системный анализ, программная инженерия, инженерия требований, математическое моделирование, теория искусственного интеллекта.

К числу формальных показателей, характеризующих степень обоснованности и достоверность результатов диссертационного исследования можно отнести:

– большое количество источников используемой отечественной и зарубежной литературы из числа как современных, так и зарекомендовавших себя по исследуемой теме;

– приведение в тексте диссертации структуры исследования, сравнительного анализа существующих моделей и реализующих их программных средств, близких к исследуемой теме, различных по тематике приложений, уточняющих основной текст и дополняющих новизну исследования, большое количество содержательных примеров, таблиц и иллюстраций, повышающих наглядность излагаемых результатов и выводов, демонстрации применения разработанного модельно-алгоритмического обеспечения при формировании электронного паспорта ракеты-носителя "Союз-2";

– апробацию изложенных в диссертации положений на 13 конференциях и семинарах;

– опубликование результатов диссертационного исследования в 20 трудах различных конференций, в 4 журналах из перечня ВАК РФ и 5 журналах, индексируемых в Web of Science и Scopus;

– получение 4 актов о внедрении разработанного модельно-алгоритмического обеспечения, среди которых 2 отражают его практическое применение при автоматизации информационно-аналитической поддержки жизненного цикла космических средств, а другие – об использовании полученных результатов в рамках научно-исследовательских работ, а также в рамках учебного процесса.

***Рекомендации и предложения по использованию результатов и выводов диссертационной работы.***

Разработанный соискателем в рамках диссертационного исследования модельно-алгоритмический комплекс информационно-аналитической поддержки жизненного цикла космических средств рекомендуется к практическому применению при решении задач межведомственного информационного взаимодействия в кооперациях организаций потребителей и

поставщиков информации, необходимой для оценивания технического состояния космических средств при их создании и применении.

Научно-методические и прикладные основы решаемой в диссертации задачи позволяют перейти на новый, отвечающий современным целям, уровень автоматизации информационно-аналитического обеспечения заинтересованных организаций и предприятий ракетно-космической отрасли. В связи с актуальностью темы исследования для всех этапов жизненного цикла космических средств целесообразно применить полученные соискателем результаты в ведущих организациях и предприятиях, связанных с проектированием, производством и эксплуатацией средств выведения полезной нагрузки в космическое пространство, пилотируемых и автоматических космических аппаратов.

Таким образом, разработанные модели, алгоритмы и программный комплекс могут быть использованы при разработке и комплексных испытаниях ракет-носителей, разгонных блоков и блоков выведения на предприятиях АО "Ракетно-космический центр "Прогресс" (г. Самара), АО "Государственный космический научно-производственный центр имени М.В. Хруничева" (г. Москва), ПАО "Ракетно-космическая корпорация "Энергия" имени С.П. Королёва" (г. Королев). При проектировании, производстве и комплексных испытаниях космических аппаратов, создаваемых и сопровождаемых в АО "Российские космические системы", АО "Информационные спутниковые системы имени академика М.Ф. Решетнёва" (г. Железногорск), ФГУП "Научно-производственное объединение имени Семёна Алексеевича Лавочкина" (г. Химки), АО "Конструкторское бюро "Арсенал" имени М.В.Фрунзе" (г. Санкт-Петербург).

Разработанный модельно-алгоритмический комплекс целесообразно также применять при семантической интеграции, обработке и анализе данных функционирующих информационных и информационно-управляющих комплексов, разрабатываемых и сопровождаемых такими предприятиями как АО НПК "Космические системы мониторинга, информационно-управляющие и электромеханические комплексы имени А.Г.Иосифьяна" (г. Москва), АО "СКБ Орион" (г. Санкт-Петербург).

Обеспечение формирования электронного паспорта создаваемых и эксплуатируемых изделий на основе предложенной распределенной информационно-аналитической системы позволяет говорить о практической пользе её применения в ряде головных организаций ракетно-космической отрасли: государственной корпорации "Роскосмос", а также в Центральном научно-исследовательском институте машиностроения (АО "ЦНИИМАШ", головной организации по системе информация о техническом состоянии и надежности космических комплексов и входящих в их состав изделий).

Особую актуальность разработанное модельно-алгоритмическое обеспечение будет иметь при решении задач информационно-аналитического сопровождения этапа применения космических средств в основных эксплуатирующих организациях, связанных с предстартовой подготовкой и пуском ракет-носителей: на космодромах Плесецк, Восточный, Байконур, Гвианский космический центр, а также на этапе контроля и управления эксплуатируемыми космическими аппаратами в центрах управления полетами – как одними из основных потребителей информации о ходе функционирования космических аппаратов различного вида.

Модели, методы и алгоритмы специфицирования и решения аналитических вычислительных задач, связанных с информационно-аналитической поддержкой жизненного цикла космических средств, могут быть использованы в рамках научного сопровождения и при проведении научно-исследовательских работ по автоматизации сбора, обработки и анализа разнородной информации о техническом состоянии космических средств в Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. Также полученные результаты могут быть использованы в перспективных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах по применению искусственного интеллекта в задачах формирования виртуальных двойников ракетно-космической техники, создания виртуальных предприятий ракетно-космической отрасли, формирования единого информационного пространства заинтересованных участников в соответствии с целевым применением.

Теоретические результаты и исследуемое в рамках диссертационной работы научное направление имеют высокую значимость для учебно-педагогической деятельности и могут быть использованы при подготовке и

научно-методическом сопровождении курсов дисциплин и учебно-методических комплексов "Методология разработки интеллектуальных систем", "Программная инженерия информационных систем", "Инженерия требований", "Системный анализ", "Теория вычислительных процессов" в высших учебных заведениях.

### ***Общая оценка содержания диссертационной работы***

Основное содержание диссертации, полученные результаты и выводы изложены в тексте с использованием корректной научной терминологии. Важные замечания и формулы сопровождаются наглядными иллюстрациями, а приложения диссертации в существенной мере дополняют промежуточные и итоговые результаты исследования, представленные в основном тексте работы. Содержание автореферата диссертации Охтилева П.А. раскрывает основные результаты диссертационного исследования. Диссертационная работа и автореферат оформлены в соответствии с предъявляемыми в ГОСТ требованиями, а изложенные положения диссертации соответствуют паспорту специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации. Автореферат диссертации полно и грамотно отражает основное содержание диссертации.

### ***Замечания по содержанию диссертационной работы.***

При общей положительной оценке работы, диссертация не лишена определенных недостатков, в качестве которых необходимо отметить следующие:

1. Из раздела 1 текста диссертационной работы не вполне ясно, чем обоснован низкий уровень возможностей по применению к решаемой задаче существующих информационных систем на основе CALS-технологий.

2. Соискатель акцентирует внимание на необходимости формализации требований к информационным системам, однако не уточняет, в чем преимущества и отличия процесса моделирования требований от традиционно применяемых концептуальных моделей.

3. В разделе 2 диссертационной работы, в целом, обоснованно предлагается моделировать информационно-аналитические процессы на основе событийно-ориентированной парадигмы, однако остается не ясным, чем

обоснован выбор и в чем преимущества моделей бизнес-процессов BPMN по сравнению с другими существующими вариантами концептуализации.

4. В диссертационной работе приводится разработанный соискателем алгоритм применения семантических медиаторов, однако не приведена информация о его месте и роли при задании аналитических вычислительных моделей.

5. В 4 разделе диссертационного исследования приведены так называемые регистрационные карточки электронных копий документов как способ извлечения данных из них, однако не вполне ясно, в связи с чем выбран именно такой способ формализации метаданных документов.

Указанные замечания не снижают общей ценности диссертационной работы соискателя и, в целом, не влияют на основные теоретические и практические результаты исследования. Сформулированные замечания носят рекомендательный характер и могут быть учтены автором в рамках дальнейших исследований по данной тематике.

#### ***Заключение и выводы.***

В целом, диссертационная работа Охтилева П.А. является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему и отличающейся научной новизной.

Автором сформулирована и решена актуальная научно-техническая задача разработки модельно-алгоритмического комплекса автоматизированной информационно-аналитической поддержки процессов создания и применения космических средств.

В рамках исследования разработана совокупность теоретических, технических и методических решений, определяющих вклад соискателя в научное направление, связанное с автоматизацией и повышением функциональной эффективности информационно-аналитической поддержки процессов создания и применения космических средств.

Диссертация удовлетворяет требованиям ВАК РФ и пунктам 9 – 14 "Положения о присуждении ученых степеней", утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, а соискатель, Охтилев Павел Алексеевич, заслуживает присуждения ученой степени

кандидата технических наук по специальности 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (технические системы).

Диссертация обсуждена, а отзыв на неё одобрен и утвержден на заседании отдела организации и сопровождения научной деятельности АО "КБ "Арсенал" 27 ноября 2019 г., протокол №11.

Консультант  
доктор технических наук  
профессор

?

Атамасов Владимир Дмитриевич

Начальник отдела организации и сопровождения  
научной деятельности  
кандидат военных наук

с

Борцин Александр Леонтьевич

АО "Конструкторское бюро "Арсенал" имени М.В. Фрунзе"  
Адрес: 195009, г. Санкт-Петербург, ул. Комсомола, д. 1-3, Лит. М, Пом. 19-Н  
Телефон: (812) 292-49-30, e-mail: kbarsenal@kbarsenal.ru  
Официальный сайт: [www/kbarsenal.ru](http://www/kbarsenal.ru)