

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА КОСМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ В СОСТАВЕ СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИИ О ТЕХНИЧЕСКОМ СОСТОЯНИИ И НАДЁЖНОСТИ

© 2017

- П. Н. Автамонов** начальник департамента прикладной аналитики;  
Научно-исследовательский и опытно-экспериментальный центр  
интеллектуальных технологий «Петрокомета», г. Санкт-Петербург;  
[expert-orion@mail.ru](mailto:expert-orion@mail.ru)
- А. Д. Бахмут** инженер-программист;  
Научно-исследовательский и опытно-экспериментальный центр  
интеллектуальных технологий «Петрокомета», г. Санкт-Петербург;  
[st.p.inomiric@gmail.com](mailto:st.p.inomiric@gmail.com)
- А. В. Крылов** начальник отдела оборонно-промышленных комплексов;  
Научно-исследовательский и опытно-экспериментальный центр  
интеллектуальных технологий «Петрокомета», г. Санкт-Петербург;  
[KrAlex@yandex.ru](mailto:KrAlex@yandex.ru)
- М. Ю. Охтилев** доктор технических наук, профессор; временный генеральный директор;  
Научно-исследовательский и опытно-экспериментальный центр  
интеллектуальных технологий «Петрокомета», г. Санкт-Петербург;  
[oxt@mail.ru](mailto:oxt@mail.ru)
- П. А. Охтилев** инженер-программист;  
Научно-исследовательский и опытно-экспериментальный центр  
интеллектуальных технологий «Петрокомета», г. Санкт-Петербург;  
[pavel.oxt@mail.ru](mailto:pavel.oxt@mail.ru)
- Б. В. Соколов** доктор технических наук, профессор, заместитель директора;  
Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской  
академии наук;  
[sokol@iias.spb.su](mailto:sokol@iias.spb.su)

Рассмотрен подход к оцениванию структурных состояний космических средств (сложных организационно-технических объектов) при поддержке принятия решений по управлению их жизненным циклом. Анализ предметной области показал необходимость применения новой интеллектуальной информационной технологии, представленной в статье, как при проектировании информационной системы сложного организационно-технического объекта, так и соответствующих систем мониторинга структурных состояний и поддержки принятия решения в составе такой информационной системы. При этом в качестве теоретической основы такой технологии рассмотрена модификация обобщённой вычислительной модели, представляющая собой унифицированную модель представления знаний, интегрирующую в себе ряд методов и подходов теории искусственного интеллекта и позволяющую строить имитационно-аналитические полимодельные комплексы мониторинга состояний и управления сложными организационно-техническими объектами. Показано, что в результате применения указанной технологии достигается комплексное оценивание технического состояния и надёжности объекта мониторинга. Проведён краткий обзор программного комплекса, решающего задачи оценивания структурных состояний космических средств. Программный комплекс реализован на основе рассмотренной интеллектуальной информационной технологии.

*Система поддержки принятия решений; сложный организационно-технический объект; система искусственного интеллекта; информационная система; структурная динамика; обобщённые вычислительные модели.*

---

**Цитирование:** Автамонов П.Н., Бахмут А.Д., Крылов А.В., Охтилев М.Ю., Охтилев П.А., Соколов Б.В. Применение технологии поддержки принятия решений на различных этапах жизненного цикла космических средств в составе системы информации о техническом состоянии и надёжности // Вестник Самарского университета. Аэрокосмическая техника, технологии и машиностроение. 2017. Т. 16, № 3. С. 173-184. DOI: 10.18287/2541-7533-2017-16-3-173-184

## **Введение**

На сегодняшний день на практике в различных сферах встречаются сложные объекты (СЛО), сочетающие как технические, так и организационные аспекты [1 – 4]. Это означает, что в составе системы элементы могут быть представлены как аппаратно-программными и информационными комплексами, так и людьми, и система может иметь некоторую сложную структуру отношений между элементами. Такие объекты называют сложными организационно-техническими объектами (СОТО). Под СОТО понимают искусственную, самоорганизующуюся, динамическую организационно-техническую полиструктуру, состоящую из взаимосвязанных элементов и предназначенную для некоторой целенаправленной деятельности, осуществляемой человеком [4]. Функционирование СОТО характеризуется сверхбольшими объёмами информационных ресурсов различной природы, неполнотой и недоопределённостью информации о состоянии, высокой стоимостью ошибок, наличием директивного времени на принятие решения при управлении, наличием различного рода структур, изменяющихся во времени (структурная динамика): организационных структур предприятий, структур изделий, функциональных структур и пр.

В качестве примера СОТО можно привести космический комплекс (КК) в ракетно-космической отрасли (РКО). Современный этап развития РКО характеризуется возрастанием сложности КК и процессов управления ими, что приводит к ужесточению требований к оперативности получения, качеству и достоверности результатов обработки и анализа информации различной природы, используемой при оценке технического состояния и надёжности КК. Далее под СОТО будем понимать КК [1].

Решение специальных задач СОТО на всех этапах его жизненного цикла (ЖЦ) невозможно без обладания эффективными инструментами автоматизации процессов мониторинга и управления этапами ЖЦ СОТО и их изделий в составе единого информационного пространства [2; 5].

Такое положение вещей требует разработки принципиально новых по идеологии построения и функциональным возможностям комплексов автоматизированной интеллектуальной обработки данных и поддержки принятия решения (ППР) при управлении ЖЦ СОТО. При этом становятся особо актуальными вопросы эффективного совместного использования накопленных различными подсистемами СОТО информационных ресурсов, учёта структурной динамики состояния СОТО в реальном режиме времени.

### **Система информации о техническом состоянии и надёжности космических комплексов и входящих в их состав изделий**

В соответствии с ГОСТ РО 1410-002-2010 система информации предназначена для своевременного обеспечения соответствующих лиц достоверными сведениями, необходимыми для выполнения работ по обеспечению и повышению уровня технического состояния, качества и надёжности комплексов и входящих в их состав изделий. Работы по системе информации проводят на всех этапах ЖЦ изделий.

Информационная система (ИС) должна быть модульной, поддерживать работу с данными и знаниями напрямую с конечным пользователем (КП); должна осуществлять в автоматическом режиме: сбор, обработку и анализ (мониторинг) данных, фактов и сведений в режиме реального времени, контроль организационной и технической составляющих, поддержку лиц, принимающих решения (ЛПР), по реализации целей СОТО, долгосрочное и краткосрочное планирование, качественное оценивание функционирования СОТО в условиях неполной и нечёткой информации и пр. [6].

Существующие системы информации о техническом состоянии и надёжности КК обладают рядом недостатков:

- большие объёмы разнородной, зачастую неполной и недоопределённой информации о техническом состоянии и надёжности КК не интегрированы и не систематизированы;
- наличие многочисленных, несовместимых между собой, выполненных на различных платформах информационных систем;
- слабый уровень автоматизации аналитической обработки информации о техническом состоянии и надёжности КК;
- ограничение оперативного доступа к информации о техническом состоянии и надёжности КК в режиме реального времени.

В результате возникает проблема отсутствия возможности комплексного оценивания технического состояния и надёжности СОТО, которую можно проиллюстрировать следующим образом (рис. 1).



Рис. 1. Иллюстрация проблемы отсутствия возможности комплексного оценивания технического состояния и надёжности изделия «Союз 2»

В настоящее время в космической отрасли предпринимаются попытки внедрить технологии электронного сопровождения наукоёмкой продукции на всех этапах ЖЦ; ИПИ – информационная поддержка изделия или CALS (Continuous Acquisition and Life cycle Support)-технологии. В качестве отечественного решения ИПИ в настоящее время предлагается технология построения системы информации о техническом состоянии СОТО на основе единых баз данных и знаний в составе распределённой вычислительной сети предприятий и организаций, участвующих в системе информации о техническом состоянии и надёжности СОТО с использованием аппаратно-программных комплексов контроля/мониторинга технического состояния и надёжности систем и элементов СОТО в реальном масштабе времени, разрабатываемых на основе интеллектуальных информационных технологий (ИИТ).

### **Интеллектуальная информационная технология мониторинга и управления структурной динамикой сложных организационно-технических объектов**

Задачами, решаемыми при оценивании состояния СОТО, являются: получение достоверной информации о состоянии и уровне качества и надёжности изделия на всех этапах ЖЦ; поддержка принятия на её основе обоснованных управленческих решений,

в том числе, при необходимости, и по проведению корректирующих мероприятий по устранению имеющихся несоответствий. Для решения поставленных задач необходимо создание автоматизированной системы мониторинга структурных состояний и ППР при управлении ЖЦ СОТО, разрабатываемой в рамках унифицированной программной платформы (УПП). УПП представляет собой программный комплекс, используемый в качестве инструментального средства для создания ИС на базе информационных моделей заданной предметной области при помощи соответствующей технологии. Таким образом, модели и алгоритмы в составе УПП должны быть направлены на помощь лицу, принимающему решения, за счёт повышения достоверности информации о состоянии СОТО.

Проектирование ИС на всех стадиях ЖЦ СОТО в рамках технологии УПП осуществляют программисты и эксперты предметной области. При этом только эксперты с использованием специализированных средств (интеллектуального интерфейса и операционной среды проектирования) формируют (синтезируют) модели предметной области, алгоритмы анализа, оценки информации и принятия решений. Используемые ключевые подходы при проектировании ИС представлены на рис. 2.



Рис. 2. Ключевые подходы при синтезе системы мониторинга структурных состояний и поддержки принятия решений по управлению ЖЦ СОТО

Уникальность и сложность СОТО не позволяет использовать какие-либо готовые алгоритмы или методы, позволяющие имитировать или вычислять процессы, происходящие в составе СОТО. В подобной ситуации остаётся полагаться на знания экспертов предметной области за счёт разработки соответствующего комплекса моделей предметной области, созданного с помощью некоторой интеллектуальной системы. Основным средством для автоматизированного интеллектуального анализа и имитации объектов и систем становится модель, в то время как алгоритм становится лишь инвариантной составной частью модели [7;8].

Информационный облик СОТО представлен множеством информационных единиц и отношений между ними. Можно говорить о наличии структурных состояний (СтрС), характеризующих те или иные стороны функционирования СОТО, где каждая структура представлена определённым типом отношений: функциональных, каузальных, релевантности, структуризации и пр. С течением времени изменяются как состояния информационных единиц, так и состояния отношений между ними. В таком случае говорят о структурной динамике состояния СОТО [2]. Одним из возможных подходов

оценивания СтрС при ППР по управлению ЖЦ СОТО является применение новой ИИТ, представленной комплексом моделей и алгоритмов [2;7;9-13]:

- G-модель как разновидность обобщённых вычислительных моделей (ОВМ), используемая в качестве модели представления знаний (МПЗ) о предметной области;
- модель «сущность-связь» в качестве модели представления данных (МПД);
- метаязык взаимодействия МПЗ и МПД, а также модели и алгоритмы формирования высказываний на этом языке на основе спецификации SQL;
- модель СтрС;
- прецедентная методика как средство формирования выводов при ППР по управлению ЖЦ СОТО;
- методы проактивного управления как прогностическое средство с позиции управления ЖЦ СОТО в составе ИИТ.

### **Информационная модель**

Совокупность моделей представления данных и знаний представляет собой информационную модель (ИМ) предметной области [14], позволяющую единым образом описать множества объектов, их свойства и связи между ними. ИМ должна представлять собой открытый, расширяемый стандарт, определяющий представление объектов ИС в виде сущностей и их отношений, опирающийся на объектно-ориентированную технологию и единую систему понятий. Методология разработки ИМ предполагает проведение ряда исследований, включающих элементы сравнения, типизации, классификации, обобщения, абстрагирования, повторения. Для реализации перечисленных требований, как правило, строится система моделей, которая описывает архитектурный (структурный) и оценочный аспекты предметной области.

Архитектурный аспект (архитектурное описание) предполагает построение моделей:

- объектной структуры, отражающей состав взаимодействующих в процессах материальных и информационных объектов предметной области;
- функциональной структуры, отражающей взаимосвязь функций (действий) по преобразованию объектов в процессах;
- структуры управления, отражающей события и правила, которые воздействуют на выполнение процессов;
- организационной структуры, отражающей взаимодействие организационных единиц (структурных подразделений, персонала) в процессах;
- технической структуры, описывающей топологию расположения и способы коммуникации комплекса технических средств.

Для моделирования таких структур необходимо совместное функционирование МПД и МПЗ. Для описания модели данных может быть использована модель «сущность-связь» (или ER-модель) в качестве концептуального семантического представления схемы предметной области [12;13]. В качестве МПЗ выбрана G-модель.

### **Обобщённые вычислительные модели**

Одним из средств концептуального моделирования и программирования предметной области являются ОВМ [15]. С точки зрения теории искусственного интеллекта (ИИ) ОВМ объединяют в себе две МПЗ: семантические сети и фреймы [14;16]. Одной из разновидностей ОВМ является G-модель [7]. G-модель является основой для создания имитационно-аналитического полимодельного комплекса и возникла как результат обобщения существующих подходов в рамках систем ИИ: концептуальное программирование, программирование в ограничениях, мультиагентное моделирование и др. Син-

тезируемый на основе G-модели программный комплекс (ПрК) позволяет осуществлять оценивание состояния СОТО с применением методов теории распознавания образов. Целью ПрК является получение обобщённых оценок совокупности параметров состояния системы, значение которых в явном виде указывает на степень работоспособности СОТО, вид и место возникшей проблемы, прогнозируемые процессы и явления с заданной точностью и интервалом прогноза и пр.

G-модель описывается следующим кортежем:

$$M_G = \langle X_M, R_M, P_M, \Delta_M \rangle,$$

где  $X_M$  – параметры объекта анализа;  $R_M$  – множество отношений между параметрами;  $P_M$  – множество предикатов, предметными переменными в которых являются элементы из  $X_M$ ;  $\Delta_M$  – отображение из  $R_M$  в  $P_M$ .

G-сеть (формируемую автоматически схему программы на основе G-модели) можно представить в виде операторной схемы и просто схемы (рис. 3).

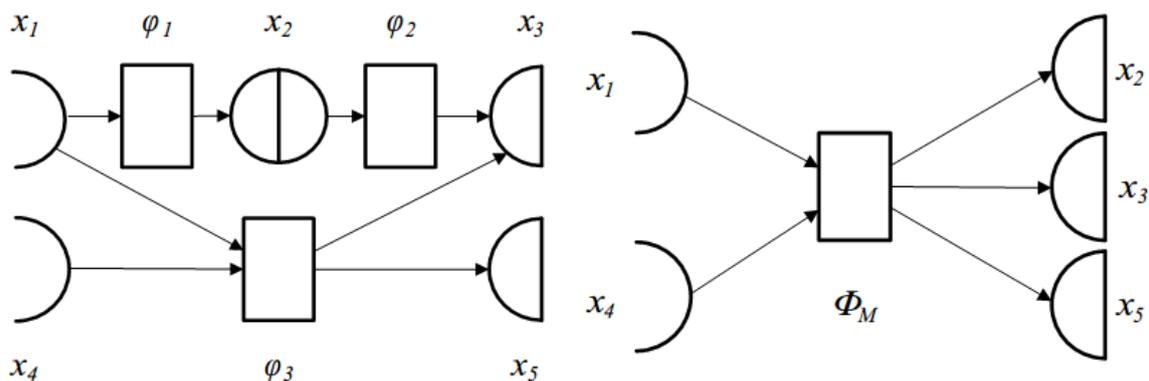


Рис. 3. Операторная схема (слева) и схема (справа) G-модели

Выразительные способности G-моделей позволяют представить любую стадию ЖЦ ИО в виде модели первичных и вторичных параметров, групп параметров, текстовых таблиц, 3D-мнемосхем статических и динамических, изменяющихся при изменении параметров, различных форм отображения; в виде различных логических, логико-лингвистических моделей, нечётких моделей, различных моделей обработки данных измерений.

Использование G-модели связано с формированием продукционной базы знаний (БЗ), наполняемой специалистом предметной области. Всеобъемлющая и детальная формализация заданной предметной области с помощью концептуальной схемы БЗ, иерархический способ представления знаний, набора объектов, понятий и их отношений формирует онтологию – точную спецификацию заданной предметной области. Она обеспечивает словарь для представления и обмена знаниями об этой предметной области и множество связей, установленных между терминами в этом словаре. В простейшем случае построение онтологии сводится:

- к выделению концептов – базовых понятий данной предметной области;
- построению связей между концептами – определению соотношений и взаимодействий базовых понятий.

## Основные элементы системы поддержки принятия решений по управлению и контролю жизненного цикла космических средств

В результате применения ИИТ и соответствующего набора моделей и алгоритмов был реализован ПрК ППР по управлению и контролю ЖЦ ракеты-носителя «Союз 2». Входными данными для ПрК являются документы и сведения, циркулирующие в составе ИС на различных этапах ЖЦ СОТО. Среди основных элементов ПрК можно выделить представленные на рис. 4.

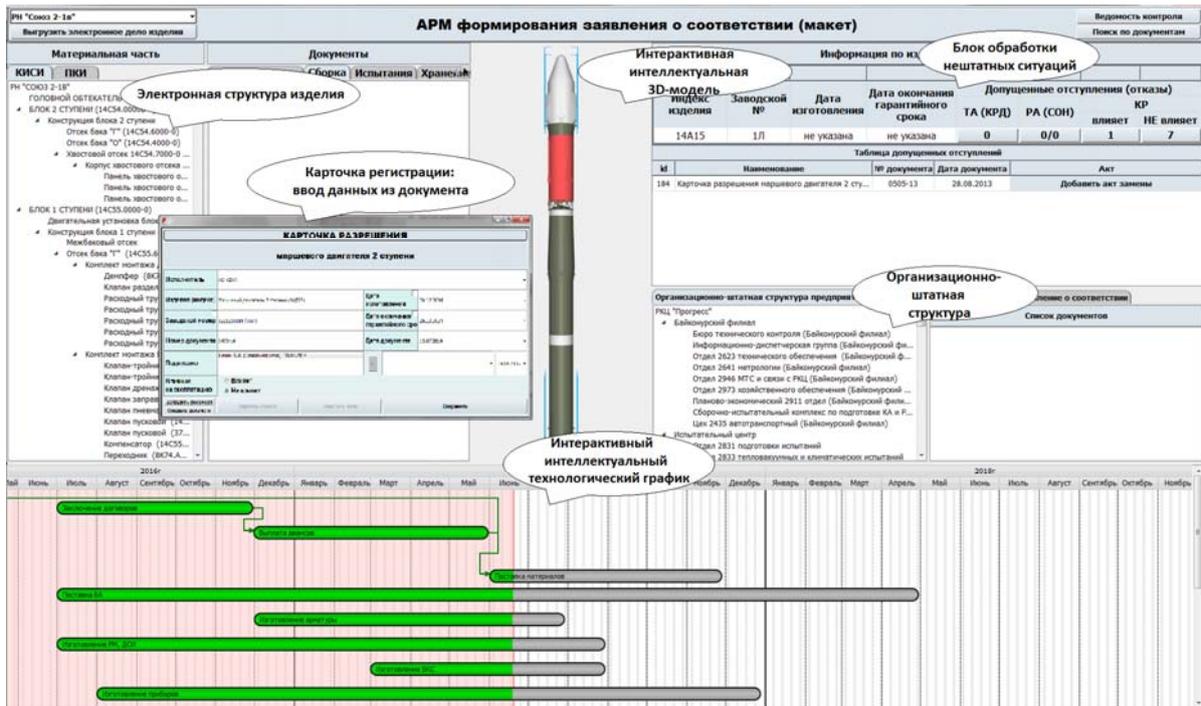


Рис. 4. Интерфейс программного комплекса поддержки принятия решений по управлению и контролю жизненного цикла космических средств

Основным объектом, предоставляющим интерфейс доступа к консолидированным данным о СОТО на всех стадиях ЖЦ, является его электронная структура – ЭСИ. ЭСИ представляет собой «древовидную» структуру, содержащую детали, сборочные единицы, комплекты и комплексы, образующие состав изделия, а также ассоциированные с каждой такой составной частью информационные ресурсы СОТО – электронные данные, соответствующие стадиям ЖЦ СОТО. Таким образом, ЭСИ является методической основой представления инженерных данных об изделии.

Другим элементом ПрК ППР является электронное дело изделия (ЭДИ), формируемое в результате наполнения ИС. Ведение электронного дела изделия на всех этапах ЖЦ позволяет организовать сбор, хранение, обмен, доступ ко всей необходимой информации об изделии на основе использования ЭСИ. Процесс оценивания СтрС и надёжности СОТО предполагает включение в ЭДИ следующих данных: общие сведения о СОТО, описание состава экземпляра СОТО, сведения об основных характеристиках составных элементов СОТО, сведения о выявленных и устранённых отказах и пр.

Для распределения потоков информации о СтрС СОТО используется организационно-штатная структура (ОШС) СОТО. ОШС представляет собой иерархическую структуру предприятия, реализованную на основе МПД. С каждым элементом ОШС связаны как элементы ЭСИ, так и соответствующие им атрибуты и состояния.

В составе ПрК реализована интерактивная интеллектуальная 3D-модель СОТО. Модель функционирует на основе потоковых вычислений, соответствующих принципам ОВМ. 3D-модель является визуализацией СтрС СОТО, полученного в результате семантического анализа данных в составе системы мониторинга. Изменение состояний элементов СОТО отражается на 3D-модели с помощью цветовой индикации.

Ещё одним элементом ПрК является интерактивный интеллектуальный технологический график (ТГ) [17]. ТГ позволяет в режиме реального времени оценивать состояния происходящих процессов на основе потоковой модели вычислений. Визуальные средства ТГ позволяют ЛПР наглядно оценивать текущий этап ЖЦ СОТО, степень готовности изделия, наличие/отсутствие отказов и неисправностей в составе СОТО, соответствие текущего этапа запланированному директивному времени.

Конечной целью ПрК ставится автоматическое формирование заявления о соответствии СОТО на основе полученных в результате мониторинга СтрС СОТО данных. Заявление о соответствии является формальным доказательством того, что СтрС СОТО соответствует заданным ограничениям, а изделие – заданному уровню качества.

### **Заключение**

Рассмотренный подход оценивания структурных состояний при ППР на различных этапах ЖЦ СОТО в составе системы информации о техническом состоянии и надежности позволяет говорить о том, что применение в составе указанной системы новой ИИТ обеспечивает возможности комплексного оценивания технического состояния и надёжности СОТО, что отвечает целям и задачам ЛПР.

G-модель, как разновидность обобщённых вычислительных моделей, обладает рядом преимуществ для моделирования, оценивания и прогнозирования структурной динамики СОТО за счёт своей возможности создания имитационно-аналитических полимодельных комплексов. Однако G-модель не учитывает полноценно отношения структуризации, необходимые для разделения потоков информации по соответствующим элементам структур СОТО.

Исследования, выполненные по данной тематике, проводились при финансовой поддержке ведущих университетов Российской Федерации: СПб ГПУ (мероприятие 6.1.1), ИТМО (субсидия 074-U01); Программы НТС Союзного государства «Мониторинг-СГ» (проект 1.4.1-1); грантов РФФИ (№№15-07-08391, 15-08-08459, 16-07-00779, 16-08-00510, 16-08-01277, 16-29-09482-офи-м, 17-08-00797, 17-06-00108, 17-01-00139, 17-20-01214); госзадания Министерства образования и науки РФ №2.3135.2017/К; в рамках бюджетных тем №№0073–2014–0009, 0073–2015–0007, Международного проекта ERASMUS +, Capacity building in higher education, № 73751-EPP-1-2016-1-DE-EPPKA2-SBHE-JP, Новые стратегии обучения инженеров с использованием сред визуального моделирования и открытых учебных платформ.

### **Библиографический список**

1. Россиев А.Ю., Заозерский С.А., Каргин В.А., Пикулев П.А., Чуприков А.Ю., Гамов В.Ю. Повышение эффективности системы информации о техническом состоянии и надёжности ракетно-космических комплексов с использованием интеллектуальной информационной технологии мониторинга состояния и управления в реальном масштабе времени // Сб. трудов международной научно-практической конференции «Передовые информационные технологии, средства и системы автоматизации и их внедрение на российских предприятиях (АИТА-2011)». М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2011. С. 776-780.

2. Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Интеллектуальные технологии мониторинга состояния и управления структурной динамикой сложных технических объектов. М.: Наука, 2006. 410 с.
3. Автамонов П.Н., Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Актуальные научно-технические проблемы разработки и внедрения взаимосвязанного комплекса унифицированных интегрированных систем поддержки принятия решений (СППР) в АСУ объектами военно-государственного управления // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2014. № 3 (152). С. 14-27.
4. Соловьев И.В. Общие принципы управления сложной организационно-технической системой // Перспективы науки и образования. 2014. № 2 (8). С. 21-27.
5. Егорова А.А., Козлов С.А. Информационные системы: методы и средства проектирования // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2006. № 105. С. 84-93.
6. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования. М.: Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 2009. 430 с.
7. Охтилев М.Ю. Основы теории автоматизированного анализа измерительной информации в реальном времени. Синтез системы анализа. СПб.: Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, 1999. 161 с.
8. Нариньяни А.С. Модель или алгоритм: новая парадигма информационной технологии // Информационные технологии. 1997. № 4. С. 11-16.
9. Крылов А.В., Охтилев П.А., Бахмут А.Д. Комбинированная прецедентная модель поддержки принятия решения и её применение в экспертных системах для сложных организационно-технических объектов // Сборник трудов XIX Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах». Самара: Офорт, 2017. С. 428-435.
10. Охтилев П.А., Бахмут А.Д., Крылов А.В. Подход к оцениванию состояния сложного организационно-технического объекта на основе обобщённых вычислительных моделей // Сборник тезисов докладов «10-й Всероссийской мультиконференции по проблемам управления». Т. 1. Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет, 2017. С. 201-203.
11. Бахмут А.Д., Крылов А.В., Охтилев П.А. Подход к организации интеллектуальной системы поддержки принятия решений по управлению сложной организационно-технической системы на основе модифицированной сети Петри // Сборник трудов XIX Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах». Самара: Офорт, 2017. С. 379-386.
12. Пин-Шен Чен П. Модель «сущность-связь» – шаг к единому представлению о данных // Системы управления базами данных. 1995. № 3. С. 137-158.
13. Кузнецов С.Д. Базы данных. Вводный курс.  
[http://citforum.ru/database/advanced\\_intro/#top](http://citforum.ru/database/advanced_intro/#top)
14. Тыугу Э.Х. Концептуальное программирование. М.: Наука, 1984. 256 с.
15. Поспелов Д.А. Искусственный интеллект. Справочник. Кн. 2. Модели и методы. М.: Радио и связь, 1990. 304 с.
16. Гуцин А.Н. Основы представления знаний: учеб. пособие. СПб.: Балтийский государственный технический университет, 2007. 30 с.
17. Мануйлов Ю.С., Шмелев В.В., Богданов А.В. Постановка задачи оптимального управления технологическим процессом на основе сетевой модели // Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. 2015. № 648. С. 55-62.

## APPLICATION OF DECISION SUPPORT TECHNOLOGY AT VARIOUS STAGES OF THE LIFE CYCLE OF SPACE FACILITIES IN ASSEMBLY WITH THE INFORMATION SYSTEM OF TECHNICAL CONDITION AND RELIABILITY

© 2017

- P. N. Avtamonov** Head of Analytics Department;  
Scientific Research and Experimental Center of Intelligent Technologies  
“Petrokometa”, Saint-Petersburg, Russian Federation;  
[expert-orion@mail.ru](mailto:expert-orion@mail.ru)
- A. D. Bakhmut** Software engineer;  
Scientific Research and Experimental Center of Intelligent Technologies  
“Petrokometa”, Saint-Petersburg, Russian Federation;  
[st.p.inomiric@gmail.com](mailto:st.p.inomiric@gmail.com)
- A. V. Krylov** Head of the Department of military industrial complex;  
Scientific Research and Experimental Center of Intelligent Technologies  
“Petrokometa”, Saint-Petersburg, Russian Federation;  
[KrAlex@yandex.ru](mailto:KrAlex@yandex.ru)
- M. Yu. Okhtilev** Doctor of Science (Engineering), Professor, Interim Director General;  
Scientific Research and Experimental Center of Intelligent Technologies  
“Petrokometa”, Saint-Petersburg, Russian Federation;  
[oxt@mail.ru](mailto:oxt@mail.ru)
- P. A. Okhtilev** Software engineer;  
Scientific Research and Experimental Center of Intelligent Technologies  
“Petrokometa”, Saint-Petersburg, Russian Federation;  
[pavel.oxt@mail.ru](mailto:pavel.oxt@mail.ru)
- B. V. Sokolov** Doctor of Science (Engineering); Professor, Deputy Director;  
St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy  
of Sciences, Saint-Petersburg, Russian Federation;  
[sokol@iias.spb.su](mailto:sokol@iias.spb.su)

The paper presents an approach to assessing structural states of space vehicles (complex organizational and technical objects) with support of taking decisions on their life cycle control. The analysis of the subject area showed the need to apply the new intellectual information technology presented in the article to the design of both the information system of a complex organizational and technical object, and the related systems for monitoring structural states and decision support as part of such an information system. We consider a version of a generalized computational model as a theoretical basis of this technology. The version discussed is a unified knowledge representation model that integrates a number of methods and approaches of the Artificial Intelligence theory and makes it possible to construct imitation-analytical polymodel complexes for monitoring states and controlling complex organizational and technical objects. The article shows that applying this technology allows comprehensive assessment of the technical state and reliability of the monitored object. The article also provides a brief overview of the software complex that solves the problems of estimating the structural states of space vehicles. The software complex is implemented on the basis of the examined intellectual information technology.

*Decision support system; complex organizational and technical object; artificial intelligence system; information system; structural dynamics; generalized computational models.*

---

**Citation:** Avtamonov P.N., Bakhmut A.D., Krylov A.V., Okhtilev M.Yu., Okhtilev P.A., Sokolov B.V. Application of decision support technology at various stages of the life cycle of space facilities in assembly with the information system of technical condition and reliability. *Vestnik of Samara University. Aerospace and Mechanical Engineering*. 2017. V. 16, no. 3. P. 173-184. DOI: 10.18287/2541-7533-2017-16-3-173-184

## References

1. Rossiev A.Yu., Zaozerskiy S.A., Kargin V.A., Pikulev P.A., Chuprikov A.Yu., Gamov V.Yu. Povyshenie effektivnosti sistemy informatsii o tekhnicheskoy sostoyanii i nadezhnosti raketno-kosmicheskikh kompleksov s ispol'zovaniem intellektual'noy informatsionnoy tekhnologii monitoring sostoyaniya i upravleniya v real'nom masshtabe vremeni. *Sb. trudov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Peredovye informatsionnye tekhnologii, sredstva i sistemy avtomatizatsii i ikh vnedrenie na rossiyskikh predpriyatiyakh (AITA-2011)»*. Moscow: V.A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences Publ., 2011. P. 776-780. (In Russ.)
2. Okhtilev M.Yu., Sokolov B.V., Yusupov R.M. *Intellektual'nye tekhnologii monitoringa sostoyaniya i upravleniya strukturnoy dinamiko slozhnykh tekhnicheskikh ob"ektov* [Intellectual technologies for monitoring the state and controlling the structural dynamics of complex technical objects]. Moscow: Nauka Publ., 2006. 410 p.
3. Avtamonov P.N., Okhtilev M.Yu., Sokolov B.V., Yusupov R.M. Actual scientific and technical problems of design and implementation of integrated and interconnected unified decision support systems (DSS) in automatic control system (ACS) in military and civil scopes. *Izvestiya SFedU. Engineering Sciences*. 2014. No. 3 (152). P. 14-27. (In Russ.)
4. Solov'ev I.V. General principles of management of complex organizational and technical system. *Perspectives of Science and Education*. 2014. No. 2 (8). P. 21-27. (In Russ.)
5. Egorova A.A., Kozlov S.A. Information systems: building methods and tools. *Civil Aviation High Technologies*. 2006. No. 105. P. 84-93. (In Russ.)
6. Norenkov I.P. *Osnovy avtomatizirovannogo proektirovaniya* [Fundamentals of Computer Aided Design]. Moscow: Bauman Moscow State Technical University Publ., 2009. 430 p.
7. Okhtilev M.Yu. *Osnovy teorii avtomatizirovannogo analiza izmeritel'noy informatsii v real'nom vremeni. Sintez systemy analiza* [Basics of the theory of real-time computer-aided analysis of measurement information. Synthesis of the analysis system]. St. Petersburg: Mozhaiskiy Military Space Academy Publ., 1999. 161 p.
8. Narinyani A.S. Model or algorithm: a new paradigm of information technology. *Information Technologies*. 1997. No. 4. P. 11-16. (In Russ.)
9. Krylov A.V., Okhtilev P.A., Bakhmut A.D. Kombinirovannaya pretsedentnaya model' podderzhki prinyatiya resheniya i ee primeneniye v ekspertnykh sistemakh dlya slozhnykh organizatsionno-tekhnicheskikh ob"ektov. *Proceedings of the XIX International Conference «Complex systems: control and modeling problems»*. Samara: Ofort Publ., 2017. P. 428-435. (In Russ.)
10. Okhtilev P.A., Bakhmut A.D., Krylov A.V. Podkhod k otsenivaniyu sostoyaniya slozhnogo organizatsionno-tekhnicheskogo ob"ekta na osnove obobshchennykh vychislitel'nykh modeley. *Sbornik tezisov dokladov «10-y Vserossiyskoy mul'tikonferentsii po problemam upravleniya»*. V. 1. Rostov-on-Don: Southern Federal University Publ., 2017. P. 201-204. (In Russ.)
11. Bakhmut A.D., Krylov A.V., Okhtilev P.A. Podkhod k organizatsii intellektual'noy sistemy podderzhki prinyatiya resheniy po upravleniyu slozhnoy organizatsionno-tekhnicheskoy sistemy na osnove modifitsirovannoy seti Petri. *Proceedings of the XIX International Conference «Complex systems: control and modeling problems»*. Samara: Ofort Publ., 2017. P. 379-386. (In Russ.)
12. Pin-Shan Chen P. The entity-relationship model – toward a unified view of data. *ACM Transactions on Database Systems*. 1976. V. 1, Iss. 1. P. 9-36. DOI: 10.1145/320434.320440
13. Kuznetsov S.D. *Bazy dannykh. Vvodnyy kurs* [Databases. Introductory course]. Available at: [http://citforum.ru/database/advanced\\_intro/#top](http://citforum.ru/database/advanced_intro/#top).

14. Tyugu E.H. *Kontseptual'noe programmirovaniye* [Conceptual programming]. Moscow: Nauka Publ., 1984. 256 p.

15. Pospelov D.A. *Iskusstvennyy intellekt. Spravochnik. Kn. 2. Modeli i metody* [Artificial intellect. Reference book. Book 2. Models and methods]. Moscow: Radio I Svyaz' Publ., 1990. 304 p.

16. Gushchin A.N. *Osnovy predstavleniya znaniy: uchebnoe posobie* [Fundamentals of knowledge representation: textbook]. St. Petersburg: Baltic State Technical University Publ., 2007. 30 p.

17. Manuylov Yu.S., Shmelev V.V., Bogdanov A.V. Statement of the problem of optimal control of the technological process on the basis of the network model. *Proceedings of the Mozhaisky Military Space Academy*. 2015. No. 648. P. 55-62. (In Russ.)