

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИМИТАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ К ОЦЕНИВАНИЮ СТРУКТУРНЫХ СОСТОЯНИЙ СЛОЖНЫХ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ НА ОСНОВЕ ОБОБЩЕННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ¹

П.А. Охтилев, А.Д. Бахмут, А.В. Крылов, М.Ю. Охтилев (Санкт-Петербург)

Современный этап развития ракетно-космической отрасли (РКО) характеризуется возрастанием сложности космических комплексов и процессов управления ими. Ужесточаются требования к оперативности получения, качеству и достоверности результатов обработки и анализа информации при оценке технического состояния и надежности изделий [1, 2]. Так, например, может стоять задача создания единого виртуального электронного паспорта ракеты-носителя «Союз 2». Ракета-носитель с позиции системного анализа относится к классу сложных организационно-технических объектов (СОТО) [3–5]. Функционирование СОТО характеризуется сверхбольшими объемами информационных ресурсов различной природы, неполнотой и недоопределенностью информации о состоянии, высокой стоимостью ошибок, наличием директивного времени на принятие решения при управлении, наличием различного рода структур, изменяющихся во времени (структурная динамика): организационных, технических, функциональных и др.

Рассматриваемая задача предполагает необходимость интеграции разрозненной информации об элементах и подсистемах СОТО на различных этапах его жизненного цикла при комплексном моделировании и оценивании состояния СОТО. При этом возникает необходимость ведения аналитической деятельности по оцениванию уровня технического состояния и надежности изделия. 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 [3, 7, 8].

Система информации о техническом состоянии и надежности 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 надежности 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 нечеткой информации и пр [6].

¹ Исследования 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.

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

- большие объемы разнородной, часто неполной и недоопределенной информации о техническом состоянии и надежности 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 надежности КК;
- ограничение оперативного доступа к информации о техническом состоянии и надежности КК в режиме реального времени.

В результате возникает проблема, заключающаяся в невозможности комплексного оценивания технического состояния и надежности СОТО, которую можно проиллюстрировать следующим образом (рис. 1).

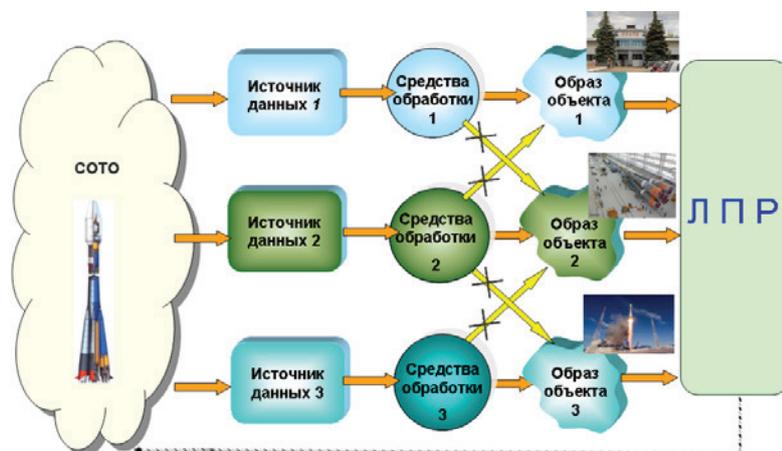


Рис. 1. Иллюстрация проблемы невозможности комплексного оценивания технического состояния и надежности изделия «Союз 2»

В настоящее время в космической отрасли предпринимаются попытки внедрить технологии электронного сопровождения наукоемкой 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 распределенной вычислительной сети предприятий и организаций, участвующих в системе информации о техническом состоянии и надежности СОТО с использованием аппаратно-программных комплексов контроля/мониторинга технического состояния и надежности систем и элементов СОТО в реальном масштабе времени, разрабатываемых на основе интеллектуальных информационных технологий (ИИТ).

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

Задачами, решаемыми при оценивании состояния СОТО, являются: получение достоверной информации о состоянии и уровне качества и надежности изделия на всех этапах ЖЦ, принятие на ее основе обоснованных управленческих решений, в том числе и по проведению, при необходимости, корректирующих мероприятий по устранению имеющихся несоответствий. Для решения поставленных задач необходимо создание

автоматизированной системы мониторинга структурных состояний и ППР по управлению 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 ЛППР за счет 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 счет 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 [8, 9].

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 определенным 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 [3]. Одним из возможных подходов оценивания СтрС при ППР по управлению ЖЦ СОТО является применение новой ИИТ, представленной комплексом моделей и алгоритмов [3, 4, 8, 13, 14]:

- G-модель, как разновидность обобщенных 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.

Обобщенные вычислительные модели

Одним из средств концептуального моделирования и программирования предметной области являются ОВМ [10]. С точки зрения теории искусственного интеллекта (ИИ) ОВМ объединяют в себе 2 МПЗ: семантические сети и фреймы [11, 12]. Одной из разновидностей ОВМ является G-модель [8]. 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. Синтезируемый на основе G-модели программный комплекс (ПрК) позволяет оценивать состояние СОТО с применением методов теории распознавания образов. Целью ПрК – получение обобщенных оценок совокупности параметров состояния системы, значение которых в явном виде указывают 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:

$$M_G = (X, R_M, P_M, \Delta_M) \quad (1)$$

где X – конечное множество параметров (переменных), характеризующих процессы функционирования СЛО. Природа параметров может быть произвольной; R_M – конечное множество отношений на множестве параметров из X ; P_M – конечное множество предикатов, предметными переменными в которых являются элементы из X ; Δ_M – отображение $R_M \rightarrow P_M$ ставящее в соответствие каждому отношению из R_M элемент в P_M .

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

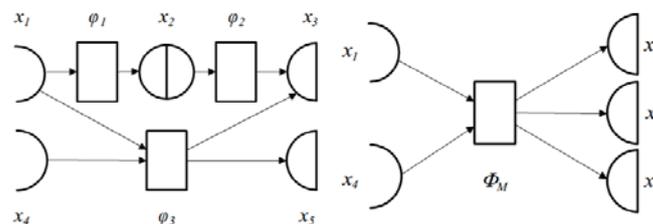


Рис. 3. Операторная схема (слева) и схема (справа) G-модели

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, нечетких 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.

Имитационное моделирование

Многие процессы в составе СОТО невозможно описать аналитическими моделями, особенно когда речь идет о динамике указанных процессов. Одним из средств, позволяющих решить обозначенную проблему в рамках теории искусственного интеллекта, является имитационное моделирование.

С позиции мультиагентного подхода в имитационном моделировании G-модели в рамках полимодельного комплекса представляются набором взаимодействующих интеллектуальных агентов. Такой подход позволяет систематизировать и формально описать процессы взаимодействия отдельных, часто децентрализованных, элементов и подсистем СОТО. При этом каждый процесс описывается своей имитационной моделью.

Дискретно-событийное имитационное моделирование позволяет описывать динамику событий и соответствующую смену состояний СОТО. В рамках рассматриваемой технологии событийность реализуется посредством парадигмы инвариантности состояния СОТО и соответствующего состояния вычислительного процесса, сформированного на основе G-моделей [8]. События в составе СОТО, представляющие собой появление в системе документов, являются сигналом для начала вычислительного процесса, в ходе которого документы атрибутируются, а на основе полученных значений параметров оценивается состояние как элемент СОТО, связанного с появившимся документом, так и всего СОТО в целом.

В рамках теории управления структурной динамикой (или системной динамикой в имитационном моделировании) развивается идея о том, что сложная система представляется набором взаимовлияющих структур [3]. При этом для каждой структуры строится своя модель. Так, в случае СОТО можно выделить следующие структуры: средств и систем информатизации, техническую, организационную, информационных ресурсов, документооборота.

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 надежности СОТО, что отвечает целям и задачам ЛПР.

G-модель, как разновидность обобщенных вычислительных моделей, обладает рядом преимуществ для моделирования, оценивания и прогнозирования структурной динамики СОТО за счет 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.

В результате применения ИИТ и соответствующего набора моделей и алгоритмов был реализован ПрК мониторинга структурных состояний и ППР по управлению ЖЦ ракеты-носителя «Союз 2».

Литература

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 надежности ракетно-космических комплексов с использованием интеллектуальной информационной технологии мониторинга состояния и управления в реальном масштабе времени // Труды международной научно-практической конференции АИТА-2011. М: Инст. пр. упр. им. Трапезникова, 2011. С. 776–780.
2. **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 надежности // «Актуальные проблемы ракетно-космической техники» (V Козловские чтения). Самара, 2017. С. 222–233.
3. **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. (Информатика: неограниченные возможности и возможные ограничения).
4. **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. Вып. №3(152). Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет, 2014. С. 14–27.
5. **Соловьев И.В.** Общие принципы управления сложной организационно-технической системой // Перспективы науки и образования. 2014. №2 (8). <https://pnojurnal.wordpress.com>. С. 21–27.
6. **Егорова А.А., Козлов С.А.** Информационные системы: методы и средства проектирования // Научный вестник МГТУ ГА. Вып. 105. Москва.: ФГОУВПО МГТУ ГА, 2006. С. 84–92.
7. **Норенков И.П.** Основы автоматизированного проектирования: учеб. Для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. 430 с.
8. **Охтилев М.Ю.** Основы теории автоматизированного анализа измерительной информации в реальном времени. Синтез системы анализа. СПб: ВИКУ им. Можайского, 1999. 161 с.
9. **Нариньяни А.С.** Модель или алгоритм: новая парадигма информационной технологии // Информационные технологии. 1997. № 4. С. 11–16.
10. **Тыгугу Э.Х.** Концептуальное программирование. М.: Наука. 1984. 255 с. (Проблемы искусственного интеллекта).
11. **Поспелов Д.А.** Искусственный интеллект. В 3-х кн. Кн. 2. Модели и методы: Справочник. М.: Радио и связь. 1990. 304 с.
12. **Гущин А.Н.** Основы представления знаний: учеб, пособие / А.Н. Гущин; Балл. гос. техн. ун-т. СПб., 2007. 31 с.
13. **Петер Пин-Шен Чен.** Модель «сущность-связь» - шаг к единому представлению о данных. пер. с англ. М.Р. Когаловский // Системы управления базами данных. Вып. №3. – Москва: Открытые системы, 1995. С. 137–158.
14. **Кузнецов С.Д.** Базы данных. Вводный курс. Интернет-ресурс: «<http://citforum.ru>». Дата обращения: 28.03.2017.
15. **Шмелев В.В.** Постановка задачи оптимального управления технологическим процессом на основе сетевой модели / Мануйлов Ю.С., Богданов А.В.//Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. 2015. Вып. № 648. С. 55–62.