

ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ НЕШТАТНЫХ СИТУАЦИЙ ТРАНСПОРТНОГО ГРУЗОВОГО КОРАБЛЯ «ПРОГРЕСС» НА ОСНОВЕ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И ОНТОЛОГИЙ

Юрыгина Ю. С.^а, руководитель проекта

Скорюпина Е. Г.^а, аналитик

Лахин О. И.^а, руководитель направления

Мишурова Н. В.^б, инженер

^аООО «Научно-производственная компания «Разумные решения», Самара, РФ

^бОАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» им. С. П. Королева, Королев, РФ

Постановка проблемы: при управлении современными космическими аппаратами специалистам необходимо оперативно принимать решения на основе анализа данных о текущем состоянии корабля. Выполнение данной трудоемкой задачи в реальном времени во многом зависит от уровня подготовки специалиста. Существующие решения для управления сложным техническим объектом применимы только в определенной предметной области, что препятствует использованию подобных программных комплексов в смежных областях. Основная цель разработки системы — предоставить специалистам помощь в мониторинге, анализе и своевременном принятии решений по предупреждению и парированию нештатных ситуаций. **Методы:** основой предлагаемого подхода является использование мультиагентных технологий и семантических сетей (онтологий), концептуальной модели сложного технического объекта и формирование киберфизической модели. **Результаты:** разработан универсальный подход к созданию интеллектуальной системы обеспечения безопасности при управлении транспортным грузовым кораблем «Прогресс»: устройство системы сложного технического объекта описано в онтологии, каждой подсистеме ставится в соответствие программный агент. Агенты анализируют состояние системы на основе модели штатных и нештатных состояний узлов, сигнализируют о возможности возникновения нештатной ситуации. План ликвидации нештатной ситуации формируется на основе регламентированных правил, а также знаний о процессах, протекающих в системе. Добавление новых технических средств, нештатных ситуаций, изменение предметной области не требует перепрограммирования системы. **Практическая значимость:** система, разработанная на основе предлагаемого подхода, может работать автономно или совместно с имеющимися средствами мониторинга и управления космическим аппаратом. Подход не ограничен рамками предметной области и применим в других отраслях, требующих решения аналогичных задач. Ожидается получение экономического эффекта за счет снижения рисков отказа сложного технического объекта и повышения показателей надежности.

Ключевые слова — предметная область, мультиагентные технологии, онтология, киберфизическая модель, нештатные ситуации, транспортный грузовой корабль «Прогресс».

Введение

Управление транспортным грузовым кораблем (ТГК) «Прогресс» и обеспечение его безопасности и надежности является сложной задачей, которую должны решать специалисты главной оперативной группы управления (ГОГУ). Анализ в реальном времени большого объема разнородной информации, отражающей текущее состояние изделия, и оперативное принятие решения без средств автоматизации являются трудоемкими и зависят от уровня подготовки специалиста.

Анализ программных продуктов на мировом рынке показывает, что комплексный универсальный подход к решению задач по управлению сложным техническим объектом на текущий момент не разработан. Частные решения применимы только для определенной предметной области, что не позволяет внедрять и использовать их в смежных отраслях. Это свидетельствует о необходимости разработки универсального метода решения поставленной задачи.

В данной статье рассматривается подход к разработке прототипа интеллектуальной системы поддержки процессов обеспечения безопасности и надежности ТГК «Прогресс». В основе предлагаемого подхода лежит использование мультиагентных технологий, предметных онтологий и киберфизической модели ТГК «Прогресс». Подход не только предлагает комплексное решение для создания рассматриваемой системы, но и открывает возможности его применения в аналогичных задачах других предметных областей.

Постановка проблемы

Сложность управления полетами современных космических аппаратов состоит в необходимости своевременно предупреждать, обнаруживать и ликвидировать нештатные ситуации (НШС) на борту. Под нештатной ситуацией понимается совокупность обстоятельств, обусловленных действием возмущающих факторов, представляю-

щих угрозу безопасности экипажа, космического аппарата, выполнению задач полета.

Предпосылками для разработки системы стали проблемы и трудности, с которыми постоянно сталкиваются специалисты ГОГУ Центра управления полетами:

- сложность устройства объекта управления, физических и логических связей между компонентами;

- большой объем разнородной информации в кадрах телеметрии, отражающей качество работы систем/узлов/элементов конструкции космического аппарата;

- необходимость оперативного принятия решений в условиях ограниченного времени;

- определение гарантированного запаса времени, которым располагает экипаж и (или) специалист ГОГУ для парирования НШС;

- необходимость комплексного анализа знаний об объекте управления: физических, структурных, логических, функциональных, пространственных связей для принятия решений по выходу из НШС.

Основной целью разработки системы является сокращение времени на анализ состояния космического аппарата, мгновенное сигнализирование о возможности возникновения НШС, подготовка рекомендаций по дальнейшей работе космического аппарата с использованием новых методов и средств автоматизации.

Обзор существующих решений

Среди решений, представленных на рынке, можно выделить систему ProcessVue Alarm Management Suite [1] компании MAC Solutions (Великобритания), которая осуществляет мониторинг факторов, влияющих на безопасность производства, сигнализирует об отклонениях от штатного режима работы. Система включает модули, занимающиеся сбором и хранением данных об аварийных сигналах и событиях (ProcessVue SOE), отображением и анализом текущей ситуации (ProcessVue Analyser), обеспечением управления и отслеживания сигналов тревоги предприятия (ProcessVue Guardian). Это позволяет гибко реагировать на изменение производственных факторов, своевременно выявлять ситуации, в которых может возникнуть угроза жизни сотрудников и существованию самого предприятия. Однако для расширения программного продукта компании потребовалось привлечь дополнительные ресурсы, что указывает на сложность масштабируемости. Более того, внедрение данного компонента в распределенные системы управления на предприятии значительно увеличивает потребление электроэнергии, что может привести

к отказу системы при вычислительных нагрузках в нештатном режиме работы.

Система DynАМо Alarm Suite [2] компании Honeywell (США) применяется на промышленных предприятиях, позволяя своевременно идентифицировать НШС и простои производства, информировать пользователей системы о возникших проблемах. Осуществляемый мониторинг системы управления позволяет определить причины возникновения НШС, осуществить прогноз последствий и выдать первоначальные рекомендации на основе инструкций, имеющихся в базе данных. Недостатком системы является подробное документирование событий, возникающих в системе, что вызывает необходимость хранить большое количество избыточных данных.

Продукт Alarm Management System [3] компании Dräger (Германия) позволяет проводить комплексный мониторинг системы подачи медицинских газов. Общее состояние объекта фиксируется датчиками и становится доступным для анализа в сети. В случае обнаружения аварийной ситуации на главный пункт в автономном режиме передаются сигналы об опасности. Система состоит из интеллектуальных модулей, которые обмениваются информацией по единой шине данных. Однако в случае возникновения непредвиденной ситуации шина данных является потенциально узким местом системы.

Системы поддержки процессов безопасности находят применение не только в организации производства, но также и в медицинских учреждениях для наблюдения за состоянием пациентов. Система Nellcor™ SatSeconds [4] компании Covidien (Ирландия) позволяет уменьшить количество ложных срабатываний сигнализации оборудования отделений реанимации, например мониторов пульсоксиметрии в случае обнаружения отклонений от нормы или сбоя в работе. Принцип работы состоит в расчете и анализе длительности показаний датчиков. Применяемый подход не является универсальным, поскольку способ расчета для каждого нового устройства необходимо пересматривать.

В Санкт-Петербургском научно-инженерном центре [5] разрабатывается интеллектуальная система, осуществляющая мониторинг и контроль состояния космодромов. В задачи системы входит определение состояния оборудования по показаниям датчиков, прогноз изменения значений параметров для выявления опасных тенденций, предпосылок развития НШС. В случае обнаружения отклонений в техническом состоянии объекта формируются и выдаются рекомендации для принятия решений. В настоящее время система осуществляет комплексный мониторинг ракетно-космической техники и наземной космической инфраструктуры космодрома Плесецк. Существенный

недостаток данной системы — невозможность применять ее в других предметных областях.

Предлагаемый в данной статье подход отличается от рассмотренных ранее, во-первых, способом представления модели сложного технического объекта. Рассмотренные решения используют хранилища с описанием условий возникновения ситуаций, типов, характера их протекания. В предлагаемом подходе модель сложного технического объекта описывается при помощи семантической сети (онтологии). Это обеспечивает гибкость и легкость масштабирования системы, не требует перепрограммирования при внесении изменений: добавлении новых технических средств, новых типов НШС, изменении предметной области.

Следующее отличие состоит в методе построения рекомендаций при возникновении НШС. Многие системы работают на основе регламентированных инструкций, внесенных в базу данных. Некоторые системы сохраняют для дальнейшего использования алгоритм решения, информацию о событиях, произошедших на контролируемом объекте. Это ограничивает область решаемых задач кругом ситуаций, имеющих в базе системы. Данное ограничение устраняет использование мультиагентных технологий, когда на основе имеющихся в системе знаний агент может получить новые знания и построить алгоритм выхода из непредвиденной ситуации. Взаимодействие между агентами децентрализовано, что свидетельствует об отсутствии узких мест в системе.

Предлагаемый подход основан на универсальных способах управления сложным техническим объектом и не зависит от предметной области. Это позволяет применять разработанные методы в других отраслях, где возникают аналогичные задачи.

Описание предлагаемой системы

Основная цель системы — предоставить специалистам помощь в мониторинге, анализе и своевременном принятии решений по предупреждению и парированию НШС [6]. Для этого система должна решать следующие задачи [7]:

- обработка телеметрической информации с оценкой текущего состояния космического аппарата;
- своевременное распознавание отклонений от штатного состояния;
- наблюдение тенденции к возникновению НШС и распознавание НШС;
- формирование рекомендаций по парированию НШС;
- прогнозирование последствий НШС.

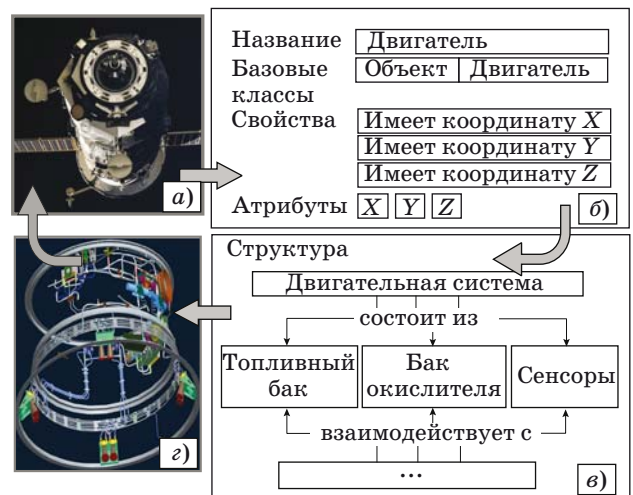
Система может работать автономно либо совместно с текущими средствами мониторинга

и управления изделием. При работе в автономном режиме все необходимые входные данные должны вводиться или загружаться пользователем вручную. В случае интегрированной работы с текущими средствами мониторинга и управления изделием часть данных может автоматически загружаться в режиме реального времени при помощи сервисов интеграции либо запрашиваться у пользователя.

В основе взаимодействия системы с пользователем лежит киберфизическая модель ТГК «Прогресс», позволяющая оперативно получать необходимую информацию об изделии и его составных системах и узлах. Киберфизическая модель является визуальным отражением концептуальной модели изделия. Система поддерживает модель изделия в 2D- и 3D-представлении с отображением функциональных связей между узлами. При выборе интересующего узла специалист может посмотреть текущие характеристики, расчетные параметры: показатель надежности работы узла, риск отказа, статистику НШС и др. Это позволит следить за общим состоянием системы, своевременно фиксировать и устранять неисправности.

Схема, отражающая базовые принципы системы, представлена на рис. 1.

Для конкретного космического аппарата строится онтология, содержащая необходимые классы, далее с помощью онтологии строится концептуальная модель космического аппарата. На основе концептуальной модели формируется киберфизическая модель, которая позволяет визуа-



■ Рис. 1. Базовые принципы организации системы: а — «Прогресс-М»; б — онтологическое описание класса «Двигатель ДПО», используемого в информационной модели космического аппарата; в — физическая и иерархическая структуры двигателя; г — киберфизическая модель космического аппарата

лизировать процессы, протекающие внутри космического аппарата, взаимодействие внутренних компонентов между собой и с внешней средой.

Предлагаемый подход

В основе предлагаемого подхода лежит использование мультиагентных технологий и онтологий [8]. Каждой подсистеме или узлу объекта ставится в соответствие программный агент. Такой агент представляет собой автономную программу, которая может реагировать на события, принимать решения и взаимодействовать с другими агентами или пользователями согласно встроеному внутреннему циклу управления. Для хранения знаний агенты используют онтологию, которая отражает концептуальную модель изделия. В концептуальную модель изделия входят следующие части:

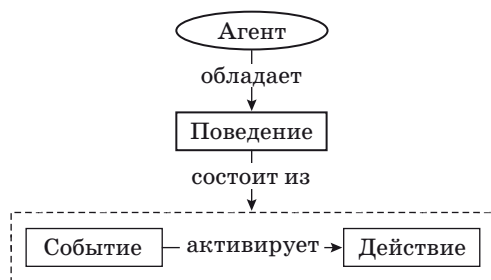
- иерархическая структура, отражающая состав узлов изделия;
- физическая структура, отражающая физические и пространственные отношения между узлами;
- модель штатных состояний узлов;
- модель НШС;
- правила выполнения операций по ликвидации НШС;
- функциональная структура, отражающая функциональные зависимости между узлами;
- модель физических процессов.

Схематично архитектура агента представлена на рис. 2.

Агент обладает поведением, которое состоит из набора действий и событий. При возникновении события агент выполняет связанное с данным событием действие, работая со сценой. В данном контексте сцена — это отражение концептуальной модели в текущий момент времени.

1. Для анализа и оценки текущего состояния узла его агент обрабатывает любое изменение в сцене и выполняет следующие действия:

- а) определяет текущие состояния узла — сопоставляет текущие характеристики узла с описанием его состояний в онтологии, в случае на-



■ Рис. 2. Архитектура агента

хождения соответствия агент узла фиксирует его состояние;

б) рассчитывает степень обладания состоянием — рассчитывает значение функции, которая отражает степень нахождения данного узла в анализируемом состоянии в зависимости от характеристик и показателей узла в текущий момент времени;

в) рассчитывает показатель надежности на основании степени нахождения узла в штатном состоянии: чем больше степень нахождения узла в штатном состоянии, тем больше показатель надежности узла;

г) одновременно распознает и фиксирует отклонения от штатного состояния — анализирует, находится ли узел в штатном состоянии, в случае отклонения агент узла инициирует соответствующее событие.

2. Для наблюдения тенденции к возникновению НШС и распознавания нештатных ситуаций агент узла фиксирует событие по отклонению от штатного состояния, далее анализирует, с какими НШС может быть связано зафиксированное отклонение. Для каждой связанной НШС агент узла рассчитывает тенденцию к ее возникновению с помощью функции, отражающей степень приближения к НШС в зависимости от характеристик и показателей узла в текущий момент времени.

3. Для выполнения задачи формирования рекомендаций по устранению НШС агент сначала фиксирует событие НШС узла, далее формирует план рекомендаций на основании указанных в онтологии правил ликвидации зафиксированной НШС.

4. После фиксации НШС в узле выполняется прогнозирование последствий данной НШС при помощи функциональной структуры и модели физических процессов [9].

Обработанные данные предоставляются специалисту для дальнейшего принятия решений и анализа текущей ситуации.

Основное преимущество предлагаемого подхода заключается в возможности гибко управлять моделью предметной области: расширять новыми знаниями концептуальную модель и добавлять новое поведение агентов узлов. Таким образом, специалисты предметной области смогут постоянно расширять знания о системе и адаптировать поведение агентов для решения различных задач в рамках обеспечения безопасности и повышения показателей надежности изделия.

Пример использования предлагаемого подхода

Рассмотрим основные принципы использования предлагаемого подхода на примере возникновения НШС в комбинированной двигательной

установке ТГК «Прогресс» (рис. 3). Для упрощения и наглядности некоторые элементы были опущены.

Кратко опишем сценарий развития ситуации. На начальном участке полета выполняется операция по наддуву магистралей топливом. Во время операции азот, находящийся под высоким давлением в баллоне, поступает в бак с топливом. Топливо вытесняется в двигательную установку для дальнейшего использования. По окончании операции наддува двигательная установка находится в состоянии готовности. При выполнении операции может возникнуть НПС — «неоткрытие клапана». Рассмотрим применение подхода для решения рассматриваемых выше задач.

Построение концептуальной модели начинается с описания иерархической и физической структур (рис. 4, а и б).

Для узлов описывается модель штатных и нештатных состояний (рис. 5, а и б).

Рассмотрим описание штатного состояния для двигательной установки на начальном участке полета. Оно включает следующие составляющие:

— участок полета, определяющий временной интервал;

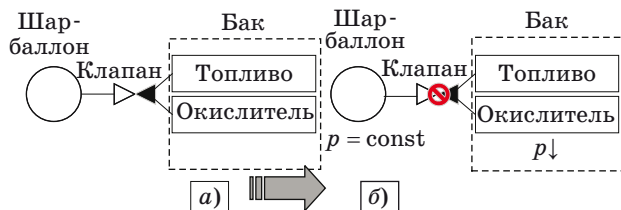


Рис. 3. Фрагмент двигательной установки: а — до НПС; б — после НПС

— состояние клапана, определяющее некоторый контекст ситуации;

— состояния бака наддува и бака горючего, отражающие ограничения для характеристик объектов, в рамках которых они могут изменяться.

Описание нештатного состояния имеет аналогичную структуру. Отличие заключается в способе обработки описанных состояний агентом узла. Агент узла «Подсистема двигателя», анализируя рассмотренное штатное состояние, сначала проверяет состояние, определяющее участок полета. Если участок полета совпадает (т. е. «Полет» имеет состояние *Начало полета*), агент уточняет состояние задействованных узлов, если контекст ситуации совпадает (т. е. «Клапан» имеет состояние *Клапан открыт*), агент проверяет состояния, отражающие штатную работу: давление

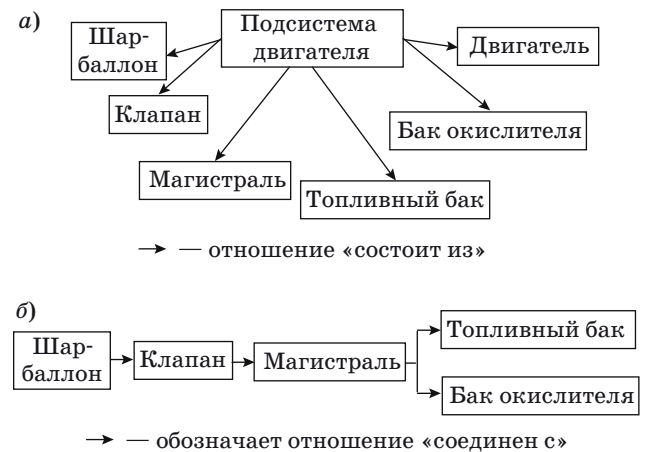
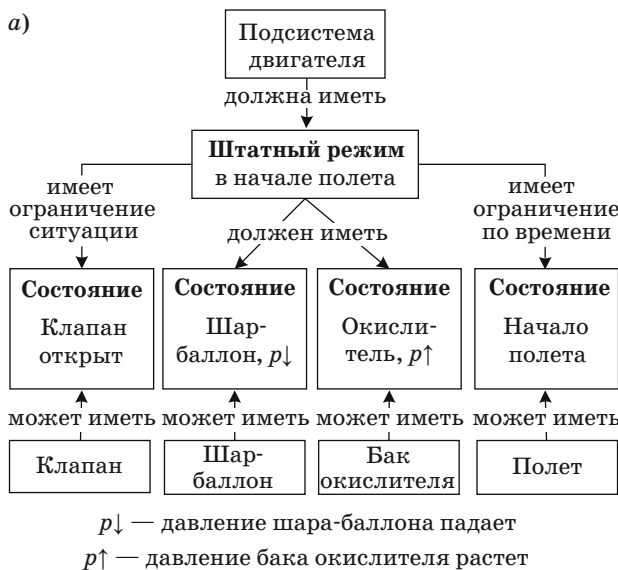
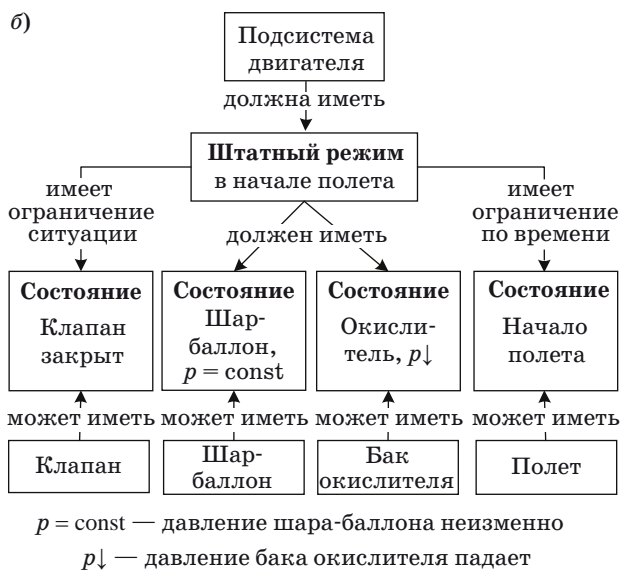


Рис. 4. Иерархическая (а) и физическая (б) структура двигательной установки



$p\downarrow$ — давление шара-баллона падает
 $p\uparrow$ — давление бака окислителя растет



$p = const$ — давление шара-баллона неизменно
 $p\downarrow$ — давление бака окислителя падает

Рис. 5. Модель штатного (а) и нештатного (б) режима работы двигательной установки

в баке наддува должно падать, давление в баке окислителя должно расти. Если хотя бы одно из состояний, отражающих штатную работу, не совпадет, агент зафиксирует отклонение от данного штатного состояния.

При анализе нештатного состояния агент узла «Подсистема двигателя» аналогично проверяет состояния, определяющие:

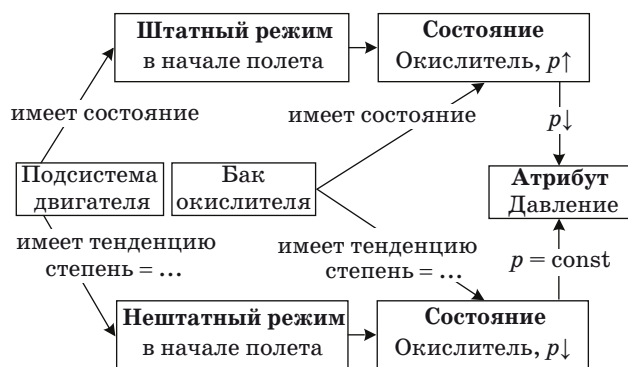
- участок полета;
- контекст ситуации;
- состояния, отражающие нештатную работу: давление в баке наддува должно быть постоянным, давление в баке окислителя должно падать.

Если оба состояния, отражающие нештатную работу, совпадут, агент фиксирует, что узел «Подсистема двигателя» имеет нештатное состояние.

Для описания состояния, отражающего нештатную работу, используются ограничения на значение атрибута. Например, для состояния *Окислитель, p↓* указывается, что значение атрибута *Давление* должно уменьшаться с определенной скоростью. Кроме ограничения на значения атрибута, можно указать функцию, отражающую тенденцию к возникновению нештатного состояния. Например, чем ближе значение скорости уменьшения давления к указанному в ограничении, тем больше вероятность возникновения нештатного состояния. Значение показателя тенденции к возникновению нештатного состояния может храниться в атрибуте отношения между объектом и состоянием (рис. 6).

Значение показателя тенденции к возникновению нештатного состояния может заключаться в диапазоне от 0 до 1: 1 означает, что нештатное состояние зафиксировано, 0 — отсутствие предпосылок.

Если нештатное состояние зафиксировано, агент узла «Подсистема двигателя» формирует рекомендации по его устранению. Для этого используется описанный в концептуальной модели *Алгоритм восстановления* (рис. 7). При необходимости агент узла может запрашивать дополнительные данные от пользователя, например,



■ Рис. 6. Тенденция к нештатному состоянию

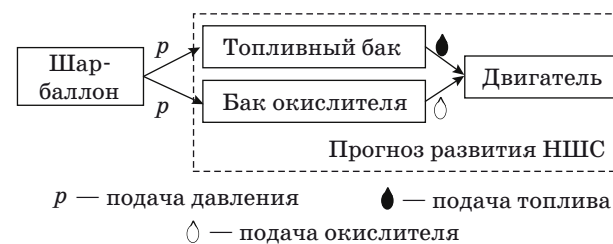
успешно ли выполнена операция *Попытаться открыть клапан*, и в зависимости от полученной информации формировать дальнейшие рекомендации. В случае сложных, разветвленных алгоритмов это может существенно помочь специалистам действовать строго по регламентированным инструкциям.

Для прогнозирования последствий НШС могут использоваться функциональная структура и модель физических процессов, являющиеся частью концептуальной модели. Анализируя физические и функциональные связи, агенты узлов определяют, какие связи будут нарушены, и делают предположения о последствиях в случае выхода из строя одного из узлов. На рис. 8 представлена функциональная структура для рассматриваемого примера, требуемая для штатной работы.

Отношения «подача давления» между узлами «Шар-баллон» и «Топливный бак», «Бак окислителя» устанавливаются автоматически при выполнении процесса «подача давления». Данный процесс должен обеспечивать штатную работу узла «Подсистема двигателя» на начальном участке полета. В процессе участвуют следующие объекты: «Шар-баллон», «Клапан», «Топливный бак»,



■ Рис. 7. Порядок восстановления



■ Рис. 8. Функциональная структура двигательной установки

«Бак окислителя». Для работы процесса имеется следующее ограничение: узел «Клапан» должен иметь состояние *Клапан открыт*. Таким образом, при отказе узла «Клапан» процесс не будет функционировать и требуемые отношения «подача давления» от узла «Шар-баллон» не будут установлены, что может вывести из штатного состояния узлы «Топливный бак» и «Бак окислителя». В свою очередь, данные узлы имеют функциональные связи «подача топлива», «подача окислителя» с узлом «Двигатель», поэтому данный узел также находится под угрозой отклонения от штатной работы.

Заключение

Применение рассмотренного подхода позволит создать прототип интеллектуальной системы поддержки процессов обеспечения безопасности и надежности ТГК «Прогресс». Использование данной системы обеспечит своевременное реаги-

рование на возникновение тенденций и предпосылок возникновения нештатных ситуаций, может оперативно принимать решения по ликвидации отказов и стабилизации работы изделия.

Ожидается получение экономического эффекта за счет снижения рисков отказа изделия и повышения показателей надежности.

Систему, разработанную на основе предложенного подхода, можно использовать не только для изделия ТГК «Прогресс», но и для других изделий аэрокосмической отрасли: самолетов, пилотируемых космических кораблей, спутников [10]. Ввиду отсутствия в предлагаемом подходе непосредственной зависимости от предметной области, описанные методы можно применять в других отраслях, где используются требующие решения аналогичных задач сложные технические изделия: буровые установки и насосные станции; газорегуляторные пункты и установки; теплоэлектроцентрали; ядерные реакторы; морские суда и подводные лодки и т. д.

Литература

1. ProcessVue Suite Overview. <http://www.processvue.com/en/products/processvue-suite-overview> (дата обращения: 13.05.2015).
2. HoneyWell Alarm Management. https://www.honeywellprocess.com/en-US/online_campaigns/alarm-management/Pages/alarm-management.html (дата обращения: 13.05.2015).
3. Dräger Alarm Management System. http://www.draeger.com/sites/en_seeur/Pages/Applications/Alarm-Management-System.aspx?navID=1877 (дата обращения: 14.05.2015).
4. Covidien Nellcor™ SatSeconds. <http://www.covidien.com/rms/clinical-solutions/alarm-management> (дата обращения: 14.05.2015).
5. Научно-инженерный центр электротехнического университета. Интеллектуальные системы мониторинга и контроля состояния технически сложных объектов. <http://www.nicetu.ru/resheniya-i-produkty/intellektualnye-sistemy-monitoringa-i-kontrolja-sostojaniya-tehnicheskii-slozhnykh-obektov/> (дата обращения: 20.05.2015).
6. Матюшин М. М. и др. Автоматизированная система поддержки принятия решений в аварийных ситуациях / М. М. Матюшин, С. И. Потоцкий, П. О. Скобелев, В. И. Потапов, О. И. Лахин // Программные продукты и системы. 2013. № 3. С. 62–69.
7. Матюшин М. М., Вакурина Т. Г., Мишурова Н. В. и др. Интеллектуальная система предупреждения нештатных ситуаций в бортовых системах ТГК «Прогресс» // XII Всерос. совещание по проблемам управления ВСПУ-2014, Москва, 16–19 июня 2014 г.: тр. М.: Ин-т проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, 2014. С. 9014–9021.
8. Матюшин М. М. и др. Методы и средства построения онтологий для визуализации связанных информационных объектов произвольной природы в сложных информационно-аналитических системах / М. М. Матюшин, Т. Г. Вакурина, В. В. Котеля, П. О. Скобелев, И. О. Лахин, С. С. Кожевников, Е. В. Симонова, А. И. Носкова // Информационно-управляющие системы. 2014. № 2(69). С. 9–17.
9. Коршиков Д. Н., Лахин О. И., Носкова А. И., Юрыгина Ю. С. Методы представления знаний для решения задач моделирования // Материалы V Международ. науч.-техн. конф. «Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем» Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2015), Минск, 19–21 февраля 2015 г. Минск: БГУИР, 2015. С. 425–428.
10. Лахин О. И., Полников А. С., Симонова Е. В., Скобелев П. О. Теория сложности и проблема управления жизненным циклом изделий аэрокосмической промышленности // Информационно-управляющие системы. 2015. № 1. С. 4–12. doi:10.15217/issn1684-8853.2015.1.4

UDC 629.784

doi:10.15217/issn1684-8853.2016.1.50

Developing a System of Progress Vehicle Emergency Recognition and Prevention Based on Multi-Agent Technologies and OntologieIurygina I. S.^a, Project Manager, iurygina@smartsolutions-123.ruSkoryupina E. G.^a, Analyst, skoryupina@smartsolutions-123.ruLakhin O. I.^a, Project Manager, lakhin@yandex.ruMishurova N. V.^b, Engineer, post@rsce.ru^aSoftware Engineering Company «Smart Solutions», 17, Moscovskoe St., 443013, Samara, Russian Federation^bPLC S. P. Korolev Rocket & Space Corporation «Energiya», 4A, Lenin St., 141070, Korolev, Moscow, Russian Federation

Purpose: Modern space flight control requires quick decision making based on data analysis, reflecting the current condition of the vehicle. Execution of this laborious task in real time largely depends on the proficiency of the specialist. The existing solutions for managing a complex technical object are limited by their knowledge domain, which prevents them from being used in related fields. The primary objective of the system development is to assist Flight Control Team specialists in monitoring, analyzing and decision making for quick prevention and elimination of emergencies. **Methods:** The suggested approach is based on using multi-agent technologies and semantic networks (ontologies), the conceptual model of a complex technical object, and a cyber-physical model. **Results:** A universal approach has been developed to design an intelligent system supporting the safety and reliability of Progress Vehicle. The units of the complex technical object are described in the ontology. Each subsystem of the object has a correspondent software agent. The agents analyze the system's state using a model of normal states and emergencies, signalling when an emergency can occur. Recommendations for an emergency elimination are formed using the emergency elimination rules and the model of physical processes described in the ontology. Adding a new piece of hardware, new types of emergencies or changing the knowledge domain do not require the system to be reprogrammed. **Practical relevance:** The system developed on the basis of the proposed approach can operate autonomously or combined with the existing facilities of monitoring and managing a space vehicle. The approach is not strictly limited by a certain knowledge domain, therefore the described methods can be used in other industries where complex technical objects face similar problems. It is expected that economic benefits will be obtained by reducing failure risks and improving the object reliability.

Keywords — Knowledge Domain, Multi-Agent Technologies, Ontology, Cyber-Physical Model, Emergency, Progress Vehicle.

References

1. *ProcessVue Suite Overview*. Available at: <http://www.processvue.com/en/products/processvue-suite-overview> (accessed 11 May 2015).
2. *HoneyWell Alarm Management*. Available at: https://www.honeywellprocess.com/en-US/online_campaigns/alarm-management/Pages/alarm-management.html (accessed 10 May 2015).
3. *Dräger Alarm Management System*. Available at: http://www.draeger.com/sites/en_seeur/Pages/Applications/Alarm-Management-System.aspx?navID=1877 (accessed 11 May 2015).
4. *Covidien Nellcor™ SatSeconds*. Available at: <http://www.covidien.com/rms/clinical-solutions/alarm-management> (accessed 14 May 2015).
5. *Nauchno-inzhenernyi tsentr elektrotehnicheskogo universiteta. Intellektual'nye sistemy monitoringa i kontrolia sostoianiia tekhnicheskii slozhnykh ob'ektov* [St. Petersburg Electro-Technical University Research and Engineering Center. Intelligent Systems for Monitoring and Control of State of Complex Technical Objects]. Available at: <http://www.nicetu.ru/resheniia-i-produkty/intellektualnye-sistemy-monitoringa-i-kontrolja-sostojaniia-tekhnicheskii-slozhnykh-obektov/> (accessed 20 May 2015).
6. Matjushin M. M., Potockij S. I., Skobelev P. O., Potapov V. I., Lakhin O. I. Automated System of Decision Making Support in Emergencies. *Programmnye produkty i sistemy*, 2013, no. 3, pp. 62–69 (In Russian).
7. Matjushin M. M., Vakurina T. G., Mishurova N. V., Lakhin O. I., Jurygina Ju. S., Noskova A. I. Intelligent System for Prevention of Abnormal Situations in Progress Vehicle On-Board Systems. *Trudy XII Vserossiiskogo soveshchaniia po problemam upravleniia VSPU-2014* [Proc. of the XII All-Russian Meeting on Control Systems]. Moscow, Institut problem upravleniia im. V. A. Trapeznikova RAN Publ., 2014, pp. 9014–9021 (In Russian).
8. Matjushin M. M., Vakurina T. G., Kotelja V. V., Skobelev P. O., Lakhin O. I., Kozhevnikov S. S., Simonova E. V., Noskova A. I. Methods and Software for Creation of Ontologies for Visualizing Connected Information Objects of Random Nature in Complex Information-Analytical Systems. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy* [Information and Control Systems], 2014, no. 2(69), pp. 9–17 (In Russian).
9. Korshikov D. N., Lakhin O. I., Noskova A. I., Jurygina Ju. S. Methods of Knowledge Presentation for Solving Modeling Tasks. *Materialy V Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii "Otkrytye semanticheskie tekhnologii proektirovaniia intellektual'nykh sistem"* [Proc. of the V Intern. Scientific and Technical Conf. "Open Semantic Technologies for Intelligent Systems" (OSTIS-2015)], Minsk, Belorusskii gosudarstvennyi universitet informatiki i radioelektroniki Publ., 2015, pp. 425–428 (In Russian).
10. Lakhin O. I., Polnikov A. S., Simonova E. V., Skobelev P. O. Complexity Theory and Challenges of Aerospace Products Lifecycle Management. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy* [Information and Control Systems], 2015, no. 1, pp. 4–12. doi:10.15217/issn1684-8853.2015.1.4