

# ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ НЕШТАТНЫХ СИТУАЦИЙ В БОРТОВЫХ СИСТЕМАХ ТГК «ПРОГРЕСС»

**М.М. Матюшин, Т.Г. Вакурина, Н.В. Мишурова**  
*ОАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва»*  
Россия, 141070, Московская область, Королев, ул. Ленина, 4А  
E-mail: [post@rsce.ru](mailto:post@rsce.ru)

**О.И. Лахин, Ю.С. Юрыгина, А.И. Носкова**  
*Группа компаний «Генезис знаний»*  
Россия, 443013, Самара, Московское шоссе, 17, офисный центр «Вертикаль», офис 1201  
E-mail: [yurygina@smartsolutions-123.ru](mailto:yurygina@smartsolutions-123.ru)

**Ключевые слова:** ТГК «Прогресс», мультиагентные технологии, аварийные и нештатные ситуации, телеметрия, онтологии, принятие решений.

**Аннотация:** Обеспечение безопасности экипажа и живучести Международной космической станции являются важнейшими задачами управления полетами. Основными условиями успешного решения этой задачи являются своевременное обнаружение и ликвидация аварийных и нештатных ситуаций на борту космического аппарата. В статье сформулированы цели, принципы, общая архитектура, функциональные особенности и основные требования к созданию автоматизированной системы предупреждения нештатных ситуаций в бортовых системах ТГК «Прогресс».

## 1. Введение

В процессе организации космических полетов всегда учитывается риск возникновения различных опасностей.

Одной из важных задач управления полетами современных космических аппаратов (КА) является обеспечение живучести космического корабля, который выполняет полет, что требует своевременного обнаружения и ликвидации нештатных и аварийных ситуаций (НШ и АС) на борту КА [1].

Под нештатной ситуацией понимается совокупность обстоятельств, обусловленных действием возмущающих факторов и представляющих угрозу безопасности или выполнению задач полета, под аварийной ситуацией – совокупность множеств катастрофических и критических нештатных ситуаций [2]. В таких случаях большое значение имеет быстрое и точное информирование всех специалистов, участвующих в ликвидации возникшей ситуации, о параметрах, характеризующих ее развитие, и вариантах действий, которые должны нормализовать обстановку.

С учетом увеличения продолжительности космических полетов и значительного повышения объемов информации, которыми обмениваются КА и центр управления полетом, в настоящее время для повышения уровня безопасности управления полетом транспортного грузового корабля «Прогресс» (ТГК «Прогресс») создается интеллекту-

альная автоматизированная система предупреждения нештатных ситуаций (НШС) в бортовых системах ТГК «Прогресс».

В статье сформулированы цели, принципы, общая архитектура, функциональные особенности и основные требования к созданию автоматизированной системы предупреждения нештатных ситуаций в бортовых системах ТГК «Прогресс».

## 2. Постановка задачи

Основной целью разработки системы является использование новых методов и средств для улучшения показателей оперативности и эффективности действий главной оперативной группы управления (ГОГУ) на основе адекватного представления необходимой информации и повышения обоснованности принимаемых решений, в частности, при парировании нештатных и аварийных ситуаций.

Предпосылками для разработки системы стали проблемы и трудности, с которыми постоянно сталкиваются специалисты центра управления полетами (ЦУПа):

- Сложность планирования полета, на основании которого проводится оперативный контроль состояния и работы бортовых систем (БС), а также межвиткового анализа и, в случае необходимости, коррекции плана полёта;
- Необходимость оперативного, гибкого и эффективного принятия решений, влияющих на программу полета космического аппарата, в ограниченный промежуток времени и под «прессом» времени;
- В случае развития аномальных (нештатных) ситуаций необходимо определить гарантированный запас времени, который имеется на их парирование в одном из центральных звеньев управления полетом КА, до наступления критической фазы их развития;
- Для принятия решений по выходу из нештатной ситуации необходимо применять большое количество разнородных, плохо формализованных, часто не полных знаний об объекте управления, а также об их физических, структурных, логических и других связях;
- В связи с постоянным усложнением как самих объектов управления, так и процесса организации оперативного управления полетом требуется совершенствование средств контроля и воздействия на ход полета на всех его этапах [3].

С учетом этих требований необходима разработка принципиально новой интеллектуальной системы ситуационного управления работой групп управления при возникновении нештатных и аварийных ситуаций.

## 3. Предлагаемые методы решения на примере комбинированной двигательной установки ТГК «Прогресс»

Интеллектуальная автоматизированная система предупреждения нештатных ситуаций позволяет осуществлять в режиме реального времени мониторинг работы бортовых систем, идентифицировать нештатные ситуации и предлагать варианты парирования этих ситуаций.

Оперативная оценка ситуации производится на основе исходных данных о программе полета и текущей конфигурации КА, анализа поступающей с борта ТГК «Прогресс» телеметрической информации, и сведений, вводимых специалистами ЦУП. Работа системы строится с использованием мультиагентных технологий, которые в по-

следнее время получают все большее распространение при работе в реальном времени [4].

Текущая версия системы предоставляет пользователю следующие возможности:

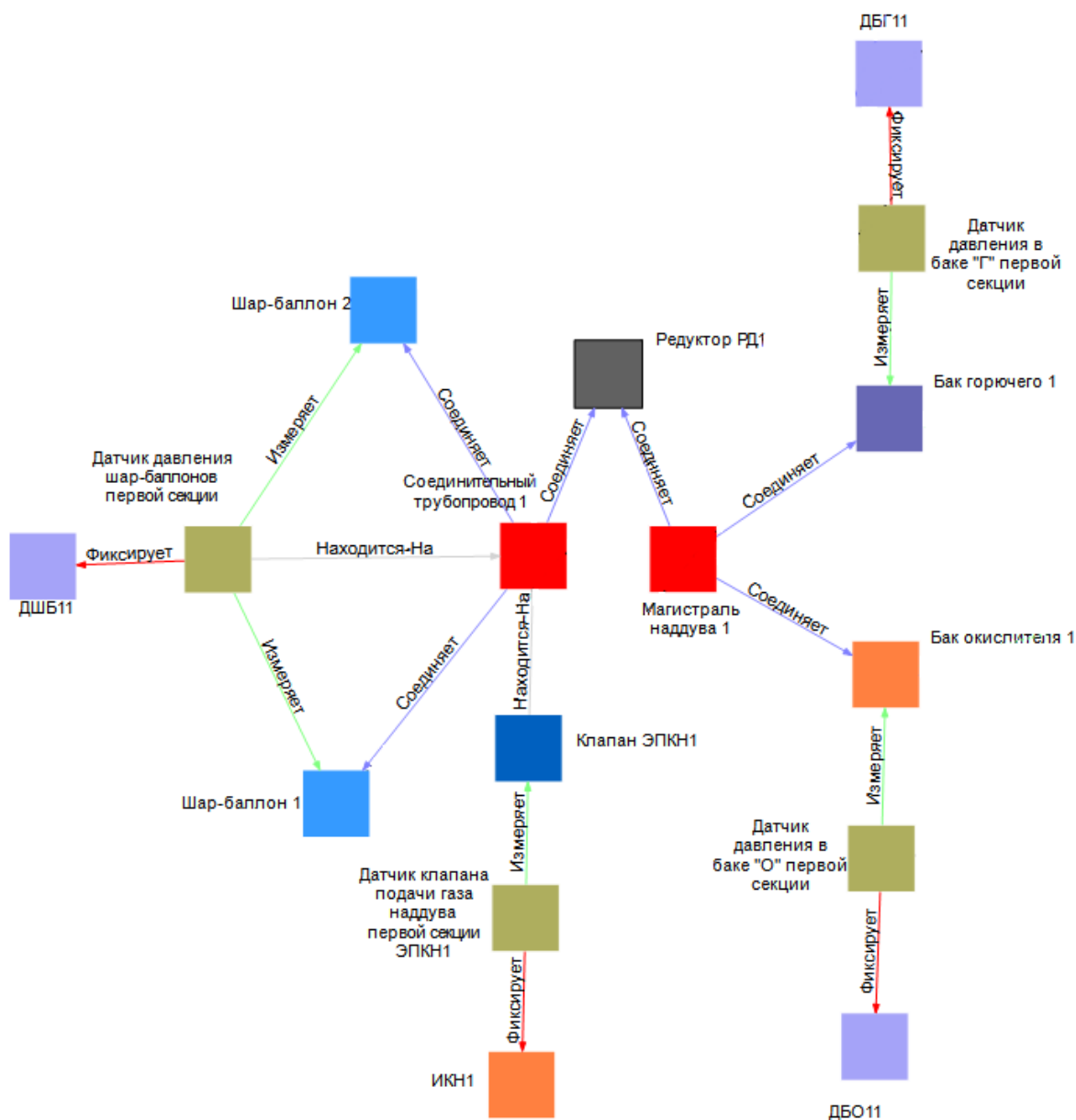
- возможность создания онтологической модели знаний о ТГК «Прогресс», включающей в себя физическую структуру корабля, программу полета, описание штатной работы и нештатных ситуаций, которые могут возникать в процессе полета;
- загрузка в систему первично обработанных данных телеметрии для анализа и отслеживания изменения показателей телеметрической информации (ТМИ), т.е. проверка на наличие отклонений и нештатных ситуаций;
- распознавание нештатных ситуаций при отклонении показателей от нормы;
- оперативное информирование пользователей о возникающих нештатных ситуациях;
- контекстный вывод инструкций пользователю на основании описания парирования ситуации в онтологии;
- предоставление в привычном пользователю виде информации для отображения кадров ТМИ по комбинированной двигательной установке (КДУ) и в графическом виде динамики изменения ТМИ по КДУ для различных этапов полета;
- предоставление пользователю для идентифицированной нештатной ситуации на основе онтологических знаний уточняющей информации о конкретных командах, которые необходимо выдать по командной радиолнии (КРЛ), а также о физических изменениях сцены, к которым приведет выполнение этих команд;
- предоставление пользователю для идентифицированной нештатной ситуации на основе онтологических знаний дополнительной информации о связанных с нештатной ситуацией объектах, элементах и компонентах.

Рассмотрим принцип работы системы на примере отказа клапана ЭПКН1 в комбинированной двигательной установке.

На начальном участке полета выполняется операция наддува бака горючего (БГ1) и бака окислителя (БО1) первой секции комбинированной двигательной установки. Допустим во время выполнения операции клапан ЭПКН1, находящийся на соединительном трубопроводе между шар-баллонами и редуктором РД1, нештатно не открывается. Вследствие этого наддув баков не происходит и давление в баке горючего (ДБГ1) и в баке окислителя (ДБО1) начинает монотонно падать, а давление в шар-баллонах (ДШБ1) остается неизменным. Данная нештатная ситуация может привести к отказу работы двигателей и всей комбинированной двигательной установки в целом, поэтому крайне важно вовремя идентифицировать сбой в системе и парировать нештатную ситуацию переключением на вторую секцию подачи топлива.

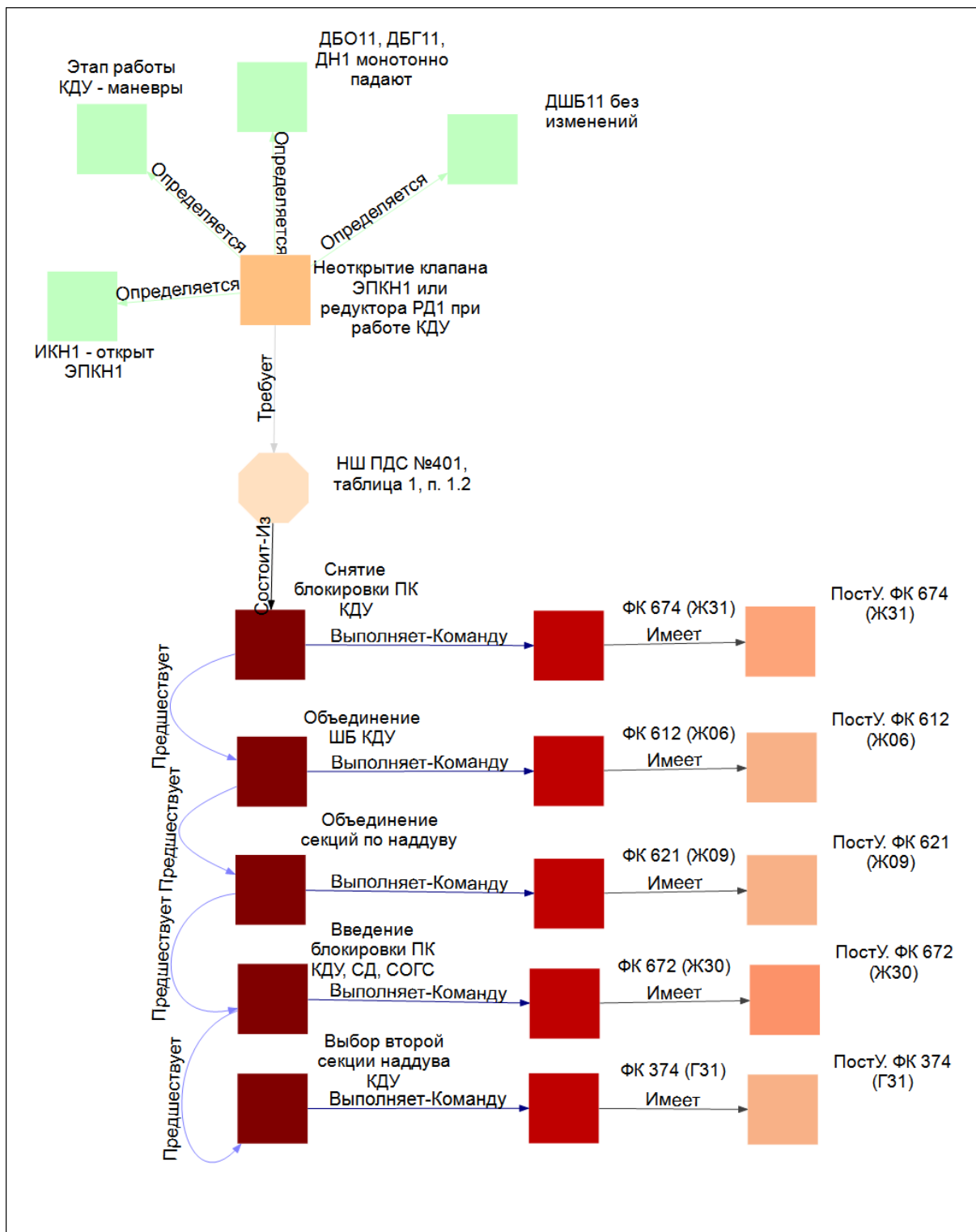
Для описания контекста ситуации используется онтология, включающая:

- Описание элементов физической структуры, задействованной в данной операции (рис. 1). В онтологию вносится общая физическая структура корабля, а главное, все объекты, которые так или иначе связаны с НШС, т.е. могут вызывать ее либо подвергнутся воздействию в результате возникшей нештатной ситуации;



**Рис. 1.** Элементы физической структуры комбинированной двигательной установки, задействованные в НШС.

- Описание условий возникновения нештатной ситуации и действий, необходимых к выполнению, в случае идентификации (рис. 2). Описание нештатной ситуации строится по принципу «ситуация»–«условие»–«рекомендация (инструкция)», т.е. ситуация возникает при срабатывании всех условий, после этого выдаются рекомендации (инструкции) по ее парированию. В свою очередь, инструкции включают в себя действия, которые необходимо выполнить для парирования НШС, а также команды, которые необходимо выдать по командной радиолинии. Вся эта информация предоставляется пользователю при идентификации НШС.



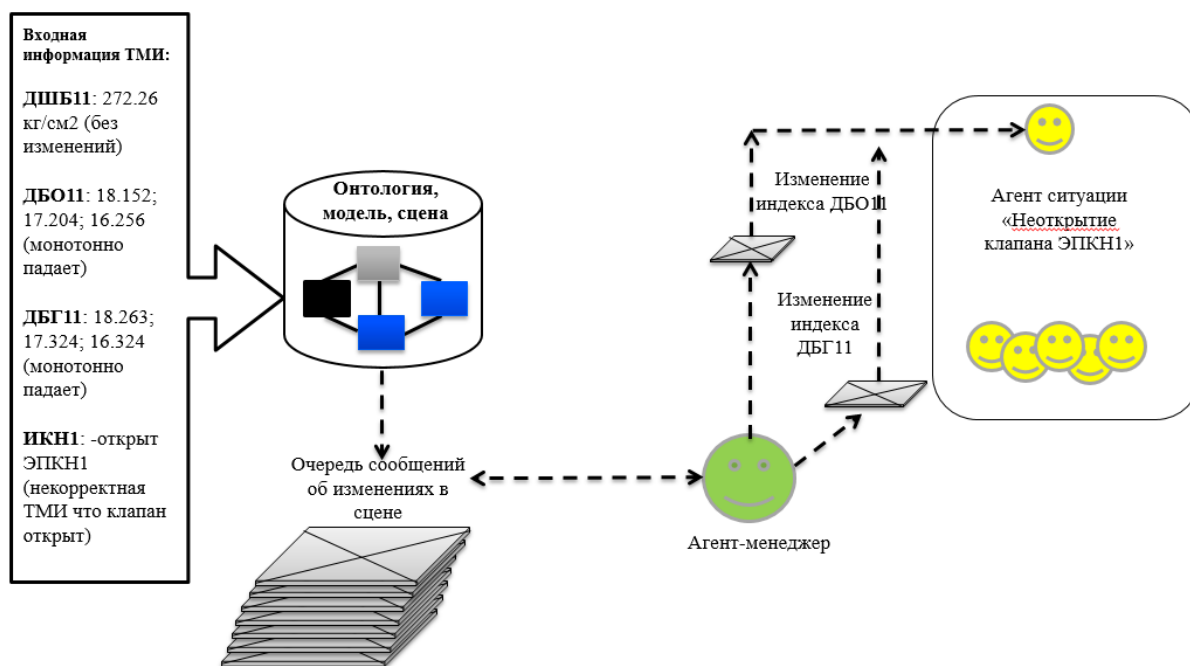
**Рис. 2.** Описание условий возникновения нештатной ситуации, действий, команд в онтологии.

Поступающая телеметрическая информация содержит данные, которые анализируются агент-менеджером на предмет наличия НШС. Для каждой нештатной ситуации создается программный агент, выполняющий следующие функции:

- обработка и анализ входящих данных;
- сопоставление данных с правилами, описанными в онтологии;

- идентификация нештатной ситуации.

В момент выполнения всех условий для НШС активируется агент нештатной ситуации, система сигнализирует о ее возникновении и предлагает инструкции по парированию. Схематично данный процесс представлен на рис. 3.



**Рис. 3.** Процесс идентификации нештатной ситуации с использованием мультиагентного подхода.

Пользователю информация об идентифицированной нештатной ситуации и инструкциях по парированию предоставляется в web-форме (рис. 4).

На экране слева отображается текущая программа полета, а справа – список всех идентифицированных на полете НШС. Информация о зафиксированных НШС сгруппирована следующим образом:

- группа «Отклонения от штатной работы», включает информацию об отклонения, полученных на основе анализа описания штатной программы полета и входящей оперативной информации;
- группа «Зафиксированные тенденции к НШС», включает информации о возможных НШС, которые могут произойти в ближайшее время, т.к. динамика определенных показателей может стать критичной;
- группа «НШС», включает информацию о зафиксированных НШС, требующих немедленной реакции по парированию;
- группа «Парированные НШС», включает информацию о парированных НШС, не представляющих угрозу текущему полету.

При выборе справа НШС слева загружается более детальная информация, включающая описание из бортовой документации, а также информация о связанных физических объектах и системах, на основании знаний описанных в онтологии (рис. 4).

The screenshot displays a flight management system interface. On the left, a vertical list shows flight phases: 'Полеты за 2013 г', 'Полеты за 2012 г', 'Прогресс-М21 (Демо НШС)', 'Подготовка к старту', 'Выведение' (with sub-items 'Виток 6', 'Начальный участок полета' (with sub-items 'Виток 13'), 'Дальнее сближение' (with sub-items 'Виток 15', 'Виток 16'), and 'Автономное сближение' (with sub-item 'Виток 18')). The right pane shows the description of a Non-Normal Situation (НШС) titled 'Неоткрытие клапана ЭПКН1 или редуктора РД1 после выведения'. It includes a title, a brief description, related objects (Редуктор РД1, Клапан ЭПКН1), and related systems (Система управления бортовым комплексом, Система измерения расхода топлива, Комбинированная двигательная установка). A technical diagram of the valve is also visible.

Рис. 4. Отображение описания НШС.

Помимо детального описания в левом окне содержится описание инструкций по парированию – команды, которые необходимо выдать по командной радиолнии для парирования данной нештатной ситуации (рис. 5).

This screenshot shows the same flight management system interface as Figure 4, but the right pane displays the 'Инструкция для НШС "Неоткрытие клапана ЭПКН1 или редуктора РД1 после выведения"'. The instruction includes a detailed procedure: 'С короткой программы полета обязательной перейти на длинную. Провести три цикла выключения-включения ЭПКН1 с интервалом 10-20 с. При необходимости прекратить динамическую операцию. Выбрать вторую секцию наддува и баков для подачи топлива в СКД. Выбрать подачу топлива в ПДПО из баков КДУ (из баков СД) и вторую линию подачи. Для чего выдать по КРЛ команды.' It also lists actions (Действие) and commands (Команда) for ODR, such as 'Выбор второй секции наддува КДУ' (command ФК 374 (Г31)) and 'Выбор второй секции баков КДУ' (command ФК 642 (Ж18)). An ontological description (Онтологическое описание) and telemetry (Подтверждающая телеметрия) are also provided.

Рис. 5. Отображение инструкций по парированию НШС.

Для достижения поставленных целей решаются задачи обработки и анализа телеметрической информации, необходимой для:

- своевременного обнаружения нештатных ситуаций, а также отклонений работы систем от штатного режима;
- принятия решений и формирования планов действий для предупреждения нештатных ситуаций в бортовых системах ТГК «Прогресс»;

- выдачи рекомендаций по порядку действий парирования в соответствии с имеющимися инструкциями и имеющимся запасом времени.

В дальнейшем предполагается распознавание образов нештатных и аварийных ситуаций и их сохранение в специализированной базе знаний для поддержки принятия управленческих решений.

## 4. Заключение

В настоящее время описанная система находится на этапе внедрения.

Ожидается следующие результаты от использования системы:

- повышение оперативности реагирования на изменение текущего состояния космического аппарата;
- повышение эффективности управления полетом космического аппарата, как в штатном режиме, так и в случае нештатных ситуаций;
- повышение уровня безопасности ТГК «Прогресс»;
- упрощение работы и действий экипажа и оперативной смены;
- уменьшение влияния негативного человеческого фактора.

Одновременно с этим осуществляется поэтапное развитие системы для расширения ее функциональных возможностей, в том числе в направлении опережающего распознавания и предупреждения возникновения нештатных и аварийных ситуаций.

## Список литературы

1. Береговой Г.Т., Ярополов В.И., Баранецкий И.И. Справочник по безопасности космических полетов. М.: Машиностроение, 1989. 336 с.
2. Соловьев В.А., Лысенко Л.Н., Любинский В.Е. Управление космическими полетами. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. Ч. 1. 476 с.
3. Матюшин М.М., Черленяк Н.Н., Волков О.В., Скобелев П.О., Сюсин И.А., Карбовничий В.П., Соллогуб А.В., Царев А.В., Симонова Е.В. Применение мультиагентных технологий для прогнозирования и парирования нештатных и аварийных ситуаций на МКС // // Труды XIV Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах». Самара, 22-25 июня 2012 г. Самара: Самарский научный центр РАН, 2012. С. 710-717.
4. Матюшин М.М., Потоцкий С.И., Потапов В.И., Скобелев П.О., Лахин О.И. Автоматизированная система поддержки принятия решений в аварийных ситуациях // Программные продукты и системы. 2013. № 3. С. 62-69.