

# КОСМИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА. КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ. ИССЛЕДОВАНИЕ ОКОЛОЗЕМНОГО КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА

УДК 629. 783

## МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТОЙКОСТИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ К ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЯМ

Е.В. Юркевич, **В.А. Иванов**, Е.М. Твердохлебова, И.А. Степановская

*С целью совершенствования средств оснащения космических аппаратов (КА) рассмотрены методологические аспекты обеспечения функциональной надёжности бортовых систем и целевой аппаратуры при воздействии электрофизических факторов космического пространства. В качестве одного из механизмов устранения существующих недостатков стабилизации работы КА предлагается подключение контрольно-измерительной аппаратуры к бортовому интеллектуальному модулю, использующему сетевые технологии класса RFID. Задачей этого модуля является формирование режима самоконтроля, самоадаптации и самовосстановления бортовой аппаратуры на основе информации от экспертной системы поддержки принятия прогнозных решений. Библиотеку процедур формирования Инструментального программного комплекса экспертной системы предлагается строить на основе когнитивной информационно-коммутиционной технологии многоагентного риск-контроллинга. В том числе предлагается привлекать информационные технологии приобретения знаний и инструментальные средства поддержки многоагентных систем.*

**Ключевые слова:** космические аппараты, функциональная надёжность, воздействие внешних факторов, бортовой интеллектуальный модуль, сетевые технологии, экспертная система, поддержка принятия прогнозных решений, когнитивная информационно-коммутиционная технология, многоагентный риск-контроллинг.

**Введение.** Одним из важных направлений в совершенствовании космических аппаратов (КА) является обеспечение работы бортовых технических и программно-технических средств при воздействии электрофизических факторов космического пространства. В связи с этим КА, предназначенные для автономного функционирования в течение длительного срока, должны быть оснащены инструментарием, обеспечивающим устойчивость работы всех его систем.

Выбор инструментария является одной из стратегически важных проблем, решаемых лицом, принимающим решения (ЛПР). Данная статья посвящена рассмотрению методологических особенностей обеспечения устойчивости функциональных модулей КА при воздействиях электрофизических факторов внешней среды.

Будем полагать, что динамика реакций функциональных модулей бортовых систем на внешние воздействия часто влияет на облик КА. Традиционно, для мониторинга электрофизических воздействий (ЭФВ) на КА устанавливаются датчики электрических и магнитных полей, а также потоков энергичных частиц солнечного и галактического происхождения. Воздействие этих частиц вызывает процесс радиационной электризации поверхностей КА со спонтанными электростатическими разрядами (ЭСР). В результате возникают сбои и отказы бортовых систем, снижающие надёжность работы КА в целом [1].

Для оценки степени электризации отдельные КА оснащаются аппаратурой контроля эффектов электризации (АДИПЭ, ДИЭРА, ТЕСТ, «Зонд-Заряд»), разработанной по прототипам научных приборов. Степень опасности электростатики для работы бортовых систем принято оценивать по измерительной информации с помощью математической обработки результатов имитационного моделирования. Эти методы обычно используются как инструмент для анализа результатов ЛКИ КА и выяснения причин аварийных ситуаций.

Однако используемая контрольно-измерительная аппаратура не позволяет в полёте оперативно выявлять аномалии от электризации. Отсутствие штатных средств мониторинга на большинстве отечественных КА затрудняет идентификацию сбоев и отказов при анализе причин аварий. В результате меры, принимаемые службами оператора управления, часто бывают запоздалыми [2]. Нами предлагается система обеспечения стойкости КА к воздействию ЭВФ и ОС, представленная на рис. 1.

В качестве примера состава модуля *формально-го управления* можно привести комплекс служебных систем КА, в том числе: систему ориентации и стабилизации, систему управления электропитанием, систему управления двигательной установкой, бортовой вычислительный комплекс, аппаратуру регулирования и контроля, бортовой коммути-

онный аппарат, преобразователи сигналов с датчиков воздействия околообъектовой среды и др.

Пример состава *модуля информационной базы*: бортовая контрольно-измерительная система, бортовая измерительно-телеметрическая система, бортовые информационные системы, аппаратура координатного временного обеспечения, бортовой радиолокационный комплекс, многозональные сканирующие устройства, аппаратура радиозатемнённого мониторинга околообъектовой среды, бортовой измеритель угловой скорости, блок определения координат звёзд и др.

Пример состава *модуля коррекции управления*: бортовые синхронизирующие координатно-временные устройства, бортовые технологические и коммутационные устройства, система управления корректирующей двигательной установкой, система преобразования и управления и др.

Пример состава *модуля интеллектуального управления*: программно-технические средства, определяющие сигналы, сформированные на основании коррекции информации, поступающей с *модуля формального управления*.

В модуле экспертная система обеспечения стойкости КА к воздействию окружающей среды, показанном на рис. 1, предлагается использовать человеко-машинный комплекс средств распределённого хранения и обработки информации. Методологически работу такого комплекса предлагается строить на базе библиотеки специализированных программно-аппаратных инструментов и с помощью сетевой среды экспертов, конфигурация которой определяет алгоритмы их взаимодействия.

**Особенности идентификации реакций КА на многофакторные воздействия внешней среды.** Разнообразие внешних ЭФВ определило рассмотрение КА в виде сложной системы. Сложной предлагается называть систему, характеризуемую параметрами не конструктивного решения элементов, а выполняемых ими функций и алгоритмами взаимосвязи этих функций. В данной статье в качестве элементов рассматриваемой системы приняты функциональные модули. В соответствии с таким подходом обеспечение устойчивости работы КА к ЭФВ сводится к решению задач функциональной надёжности.



Рис. 1. Блок-схема системы обеспечения стойкости КА к воздействию внешних электрофизических факторов и окружающей среды

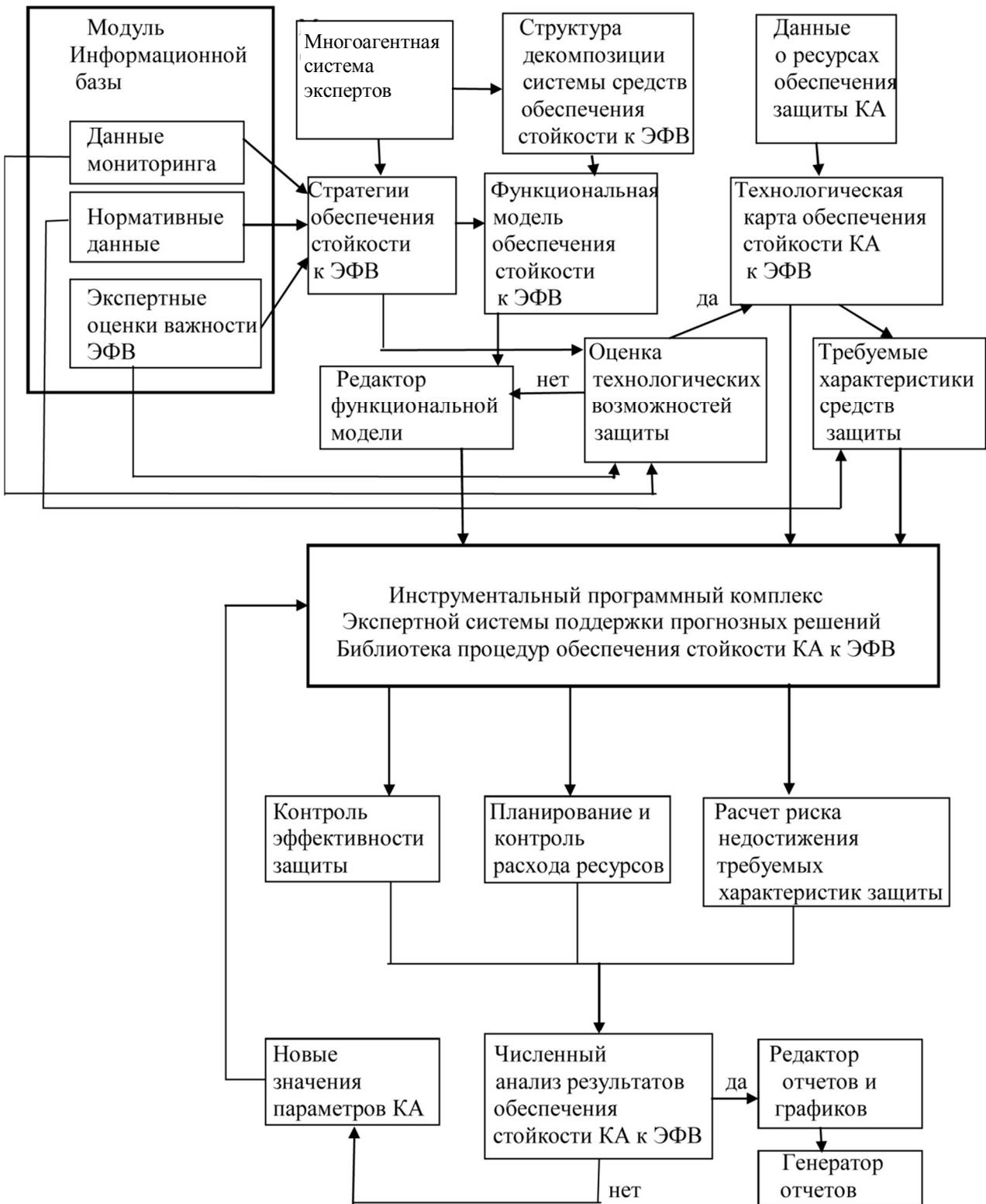


Рис. 2. Схема организации обеспечения функциональной надёжности КА при воздействиях околообъектовой среды

При данном рассмотрении в качестве параметра, позволяющего учитывать разнообразие форм и результатов влияния внешней среды на КА, предлагается использовать качество информации, передаваемой между функциональными модулями КА. Будем пользоваться терминологией К. Шеннона, предложившего в качестве информации  $I$  рассматривать только сведения, полезные для решения конкретной задачи [3]. Остальные сведения, нарушающие возможность использования данного модуля, являются энтропией  $H$ . В этом случае, при использовании вероятностной меры оценки количества информации, справедливо выражение:  $I + H = 1$ .

Определим, что при данном представлении функциональным сбоем считается наличие искажения в передаче информации. Пусть в результате расчёта надёжности конкретного модуля определена вероятность достижения цели его установки на КА. Тогда важность искажения передаваемой информации предлагается оценивать по изменению вероятности достижения цели работы модуля КА относительно рассчитанной вероятности при работе в штатном режиме. В этом случае отказ – это отсутствие сигнала из данного модуля.

Согласно анализу работы системы обеспечения стойкости КА к ЭФВ (см. рис. 1), примем, что её функциональная надёжность обеспечивается *модулем коррекции управления*. Информационное обеспечение этого модуля должно строиться на идентификации форм и результатов влияния ЭФВ на КА. В этом случае эффективность корректирующих воздействий во многом зависит от точности обработки информации. Здесь проявляется важная особенность идентификации реакций КА – требование полноты учёта факторов, определяющих значения  $I$  и  $H$ . Разнообразие таких факторов определило вторую особенность механизма идентификации реакций КА – это введение интересубъектного аудита функциональных модулей в работу экспертной системы. Третьей особенностью идентификации реакций КА является обеспечение многофункциональности инструментария, позволяющего согласовывать мнения экспертов в различных областях знаний.

Названные особенности идентификации реакций КА определили необходимость введения специализированных средств обработки неструктурированной информации. Высокая динамика реакций КА на внешние воздействия выявила необходимость учитывать временной интервал между внешним воздействием и поступлением корректи-

рующего сигнала. Поэтому для обеспечения функциональной надёжности КА потребовалась система поддержки прогнозных решений [4].

В данной работе для организации обеспечения функциональной надёжности работы КА при воздействиях околообъектовой среды, предлагается схема, представленная на рис. 2.

Таким образом, ставится проблема прогнозирования результатов многоагентного аудита. В том числе, для многопрофильной обработки информации требуются программно-аппаратные средства, позволяющие проводить верификацию знаний о воздействиях внешней среды, поддерживать регулярную связь с модулем информационной базы, проводить мониторинг динамики значений параметров работы КА, управлять направленностью формируемых баз знаний о воздействиях среды [5].

**Концептуальный подход к построению информационно-коммутационной технологии формирования инструментального программного комплекса.** С целью минимизации ошибок в работе экспертной системы обеспечения функциональной надёжности КА при ЭФВ околообъектовой среды *библиотеку процедур формирования инструментального программного комплекса* предлагается строить на основе когнитивной информационно-коммутационной технологии (ИКТ) многоагентного риск-контроллинга [6]. В решении задачи обеспечения функциональной надёжности КА такой подход предполагает проведение интересубъектного аудита с использованием интеллектуальных систем, обладающих структурированными по сферам компетентности коллективными базами знаний.

*Интеллектуальность* этих систем проявляется в том, что с их помощью возможно идентифицировать, интерпретировать и адекватно реагировать на динамически развивающиеся влияния различных факторов, поддерживая работу КА в заданном коридоре значений параметров.

Под риск-контроллингом в данной работе понимается технология интересубъектного (в пределах определённой совокупности компетенций) экспертного наблюдения. Результаты контролируемых процессов представляются в виде системной динамики синергетических эффектов от воздействия разнообразных факторов. В данном случае риск-ориентированный подход к управлению описывается следующими условиями:

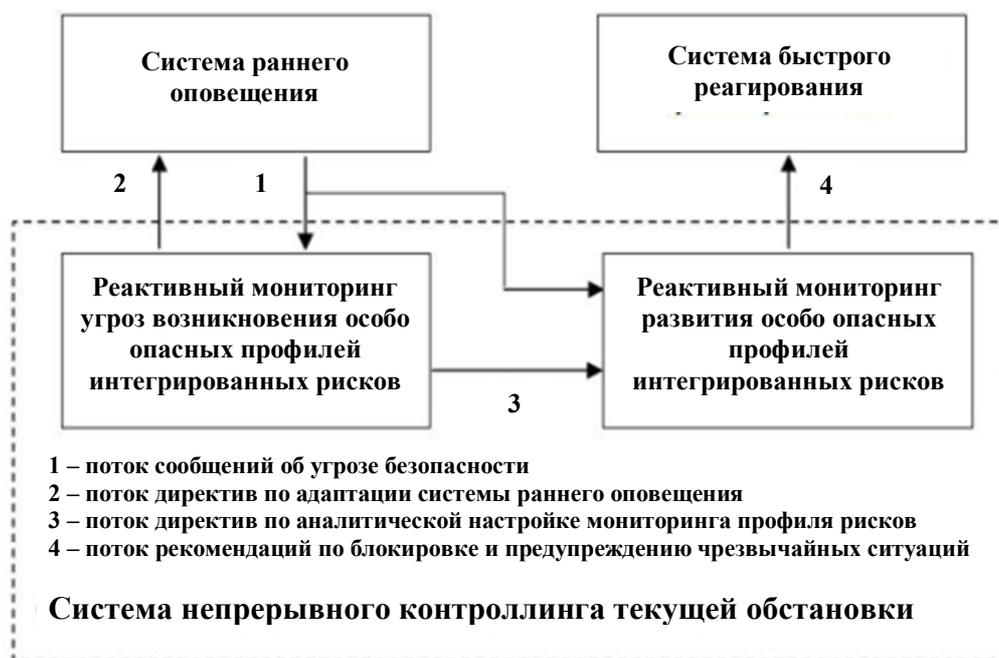


Рис. 3. Алгоритмическая структура реализации системы ED&RR

– информационная инфраструктура должна соответствовать модели принятия решений класса ED&RR (Early Detection & Rapid Response Systems), функционирующей по принципу наиболее раннего распознавания и быстрого реагирования на возникающие монориски (рис. 3);

– подсистема раннего оповещения должна использовать модель системной динамики, которая позволяет планировать мониторинг сбора данных о контролируемых процессах и последующей ситуационной оценки состояния КА (возникновение, усиление влияния факторов риска, переход в предкризисное состояние и др.) [7];

– подсистема быстрого реагирования должна функционировать по результатам и оценкам, поступающим из блока раннего оповещения, соответственно управлению слабоформализуемыми процессами, характеризующимися нелинейностью, нестационарностью, междисциплинарностью, распределённостью, что не исключает использование формализованных моделей развития, дополняющих описательную модель контролируемых процессов.

Для систематизированного формирования, регулирования, согласования, координации информационных потоков между агентами (субъектами и объектами управления) ИКТ многоагентного риск-контроллинга в данной работе предусматривается использование построителя коммуникаций в виде комплекса сервисов. В коммуникационном процессе предлагаем выделять четыре базовых элемента: канал, отправитель, получатель, сообщение. Тип

канала обычно определяет типы отправителя, получателя и сообщения соответственно. К числу базовых каналов связи предлагаемого построителя коммуникаций предлагаем относить:

1) сервис анкетирования агентов (например, web-сервис сайта-интегратора);

2) сервис системы электронных сообщений (для обмена пакетами результатов мониторинга и настройки на регламент/протокол технологических процессов в КА);

3) сервис системы субъектно-ориентированной информатизации (для настройки и автоматизации процесса распределённого сбора информации в консолидированный аналитический отчёт, заказываемый космонавтом или ЦУПом);

4) сервис типовых многоагентных систем управления (например, построитель контроллинга процессов блока формального управления);

5) сервис планирования и реализации рассылки результатов мониторинга (отчётных данных по текущему состоянию работы модулей КА).

В данной работе построение коммуникаций в виде единой сервисной системы предполагает формальное представление типов отношений между элементами многоагентной системы контроллинга. Для этого целесообразно использовать поддерживающую функцию планирования и диспетчеризации коммутационных процессов с применением единого аппарата формального представления соответствующих алгоритмов управления.

Одной из центральных задач ИТК риск-контроллинга является непрерывная актуализация базы данных, поддерживающая ЛПП в понимании текущего уровня угроз и возможностей их снижения [8]. Примеры инструментов приобретения знаний представлены в таблице.

Обобщение свойств предлагаемых механизмов определяет принципиальные возможности создания средств «когнитивной информатики», автоматизирующих поиск и обработку источников зна-

ний, формирование баз знаний для оболочек экспертных систем, формализацию и структурирование лингвистических знаний в ориентации на обработку специальными инструментальными средствами.

Однако при неуклонно возрастающем объёме сервисных средств принципиально важно на их основе обеспечить формирование методов «компьютерной науки», приближающей сопровождение техногенных систем к уровню научно-технических

### Средства и методы приобретения знаний

Метод приобретения знаний	Наименование системы и авторы	Характеристика метода
Структурированное интервью	RESIAS (Davis R.) ROGET (Bennet J.)  SALT (Markus S.)  MOLE (Eshelman L.)  OPAL (Muzen M.)  МЕДИКС (Ларичев О.И.)	Формирует новые понятия и правила Производит концептуальную организацию знаний для диагностических экспертных систем (ЭС) Формирует базы знаний в области конструирования методом пошагового распространения ограничений Обеспечивает контекстное приобретение знаний на основе структурированного интервью Обеспечивает формирование и наращивание базы знаний экспертной системы, дающей советы по восстановлению многоагентных систем Использует процедуры экспертной классификации для независимых свойств, признаков и их значений. Повышение эффективности экспертной классификации обеспечивается за счёт применения априорно заданного отношения линейного порядка на множестве состояний
Имитация консультаций	АРИАДНА (Моргоев В.)  ЭСКИЗ (Андрюченко Г.)	Реализует метод многократного решения экспертом проблемы классификации в режиме последовательной вопросно-ответной консультации Включает набор игр для приобретения знаний, являющихся модификациями метода репертуарных решёток
Интегрированные среды приобретения знаний	AQUINAS (Boose J.)  KITTEN (Shaw M.)	Содержит набор программных средств для извлечения экспертных знаний разными методами: средства анализа репертуарных решёток с последующим преобразованием системы конструкций в базу продукционных правил; методы конструирования иерархических структур знаний; средства извлечения и представления неточных знаний; подсистемы тестирования, пополнения и коррекции базы знаний и др. Основана на построении и анализе репертуарных решёток. В отличие от AQUINAS данная интегрированная среда обеспечивает извлечение элементов из тестов, анализирует примеры решения задач экспертом и генерирует продукционные правила
Приобретение знаний из текстов	KRITON (Diderich J.)  ТАКТ (Kaplan R.)	Выявляет процедурные знания на основе метода протокольного анализа из документов, описаний, инструкций Выделяет из предварительно подготовленного текста объекты, процессы и отношения каузального характера
Инструментарий прямого приобретения знаний	SIMER + MIR (Осипов Г.С.)	Позволяет формировать модели и базы знаний предметной области с неясной структурой объектов, неполно описанным множеством свойств объектов, большим набором разнородных связей между объектами

лабораторий, обеспеченных средствами исследования и внедрения новых принципов мехатроники, новых материалов, микроэлектроники, автоматики и др. Для решения этой задачи ставится проблема изыскания теоретических принципов создания информационно-исследовательских «когнитивных технологий сопровождения» технологических систем.

**Выводы.** Современная стратегия развития космической техники ориентирована на создание локомотивных технологий построения интеллектуальных средств обработки информации. В соответствии с концепцией обеспечения функциональной надёжности работы КА, предназначенных для длительной автономной работы, ставится проблема создания когнитивных мультиагентных систем. Согласно предлагаемому подходу, агентами таких систем должны стать средства, работа которых управляется интеллектуальными системами на всех этапах жизненного цикла.

Средства обеспечения функциональной надёжности КА должны обладать способностями к приобретению, переработке и обмену знаниями с другими агентами. Развитие когнитивных возможностей предполагает привлечение новых инструментальных средств поддержки прогнозных решений в многоагентных системах (NetLogo, StarLogo, Repast Simphony, Eclipse AMP, JADE, Jason). Использование таких систем в создании индивидуальных и корпоративных «информационных пространств знаний» позволит минимизировать участие экспертов в принятии решений о стабилизации работы технических средств при внешних воздействиях и о возможностях сохранения работы КА в штатном режиме.

### Литература

1. Морозов Е. П., Лукьященко В. И., Бабкин Г. В., Иванов В. А. Задачи совершенствования антистатической

защиты космических аппаратов. Модель космоса / Под ред. М. И. Панасюка и Л. С. Новикова. Том II. Воздействие космической среды на материалы и оборудование космических аппаратов / Е. П. Морозов и др. – М.: Кн. дом «Университет», 2007. – С. 736 – 753.

2. Корсун А. Г., Твердохлебова Е. М., Новиков Г. И., Маркелова Т. С., Асташкин А. А., Надирадзе А. Б. Вопросы защиты космических аппаратов от электрофизического воздействия. Системная баллистика и эффективность космических систем дистанционного зондирования земли / А. Г. Корсун и др. – М.: ЗАО НИИ «ЭНЦИТЕХ», 2012. – С. 6 – 239.

3. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике / К. Шеннон. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1963. – С. 259 – 268.

4. Трахтенгерц Э. А., Иванилов Е. Л., Юркевич Е. В. Современные компьютерные технологии управления информационно-аналитической деятельностью / Э. А. Трахтенгерц и др. – М.: СИНТЕГ, 2007. – 320 с.

5. Юркевич Е. В., Крюкова Л. Н. Проблемы регламентации функциональной надёжности средств измерений и управления в промышленных процессах // Измерительная техника. – 2013. – № 1. – С. 19 – 23.

6. Степановская И. А. Методологический и инструментальный базис формирования региональных информационных систем для фрактально-развивающихся систем административного управления // Проблемы управления и моделирования в сложных системах. Труды XIV Международной конференции (19 июня – 22 июля 2014 г., Самара, Россия) / Под ред.: акад. Е. А. Федосова, акад. Н. А. Кузнецова, проф. В. А. Витиха. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2012. – С. 305 – 320.

7. Средства компьютерной поддержки приобретения знаний [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://itteach.ru/predstavlenie-znaniy/sredstva\\_kompiuternoy-podderzhki-priobreteniya-znaniy](http://itteach.ru/predstavlenie-znaniy/sredstva_kompiuternoy-podderzhki-priobreteniya-znaniy).

8. Гаврилова Т. А. Базы знаний интеллектуальных систем, 2001 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://itteach.ru/predstavlenie-znaniy/sredstva\\_kompiuternoy-podderzhki-priobreteniya-znaniy](http://itteach.ru/predstavlenie-znaniy/sredstva_kompiuternoy-podderzhki-priobreteniya-znaniy).

Поступила в редакцию 18. 11. 2015

*Евгений Владимирович Юркевич, д-р техн. наук, профессор, академик РАЕН, зав. лабораторией, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, т. (916) 318-86-77, yurkevitch.evgenij@yandex.ru.*

**Валерий Александрович Иванов**, канд. техн. наук, зам. нач. отделения, ЦНИИ машиностроения.

*Екатерина Михайловна Твердохлебова, канд. техн. наук, начальник отделения, ЦНИИ машиностроения, т. (495) 513-45-86.*

*Ираида Александровна Степановская, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, т. (495) 334-91-69.*

## METHODOLOGICAL SOLUTIONS which GUARANTEE SPACECRAFT RESISTANCE to ELECTROPHYSICAL EFFECT

E.V. Yurkevich, **V.A. Ivanov**, E.M. Tverdokhlebova, I.A. Stepanovskaya

To enable improvement of Spacecraft (SC) on-board equipment, methodological aspects of ensuring functional resistibility of on-board systems and special purpose equipment to space environment electro-physical effect are considered in the article. Connection of control and measuring equipment to on-board intelligent module, which operates using RFID-class network technologies, is offered for consideration as one method for elimination of actual SC attitude control problems. This module is designed to form on-board equipment self-test, self-adapting and self-recovery modes using data coming from forecast decision support expert system. It is suggested to build procedure library for creation of software tools suite for expert system based on cognitive information and commutation multi-agent risk-controlling technology. It is also suggested to apply information technology for knowledge acquisition and multi-agent systems support tools.

**Key words:** Spacecraft, functional resistibility, environmental effect, on-board intelligent module, network technologies, expert system, forecast decision support, cognitive information and commutation technology, multi-agent risk-controlling.

### List of References

1. Morozov E. P., Lukyanshchenko V. I., Babkin G. V., Ivanov V. A. Issues for Improvement of Spacecraft Antistatic Shielding. Space Model / Under the Editorship of M. I. Panasyuk & L. S. Novikov. Vol. II. Space Environment Effects to Spacecraft Materials and Equipment of Spacecraft / E. P. Morozov at al. – Moscow : Knizhny Dom Universitet [Book Shop House 'University'] Publ., 2007. – Pp. 736 – 753.
2. Korsun A. G., Tverdokhlebova E. M., Novikov G. I., Markelova T. S., Astashkin A. A., Nadiradze A. B. Issues of Spacecraft Protection against electro-physical Effects. System Ballistics and Performance Capability of Space-Based Earth's Remote Sensing Systems / A. G. Korsun at al. – Moscow : ZAO 'ENTsITEKh', 2012. – Pp. 6 – 239.
3. Shannon K. Research Works on Information Theory and Cybernetics / K. Shannon. – Moscow : Izdatelstvo Inostrannoy Literary [Publishing House of Foreign Literature] Publ., 1963. – Pp. 259 – 268.
4. Trakhtengerts E. A., Ivanilov E. L., Yurkevich E. V. Modern Computer Management Technologies for Information Analytics / E.A. Trakhtengerts at al. – Moscow : SINTEG ['System Intergator'] Publ., 2007. – P. 320.
5. Yurkevich E. V., Kryukova L. N. Issues of Functional Reliability Regulation for Measuring and Control Tools Used for Industrial Processes // Izmeritelnaya Tekhnika [Measurement Equipment] Publ., 2013. – No. 1. – Pp. 19 – 23.
6. Stepanovskaya I. A. Methodological and Instrumental Basis for Regional Information Systems Intended for Fractal Evolution Management Control Systems // Issues of Control and Modeling in Complex Networks. Proceedings of the XIV. International Conference (June 19 – 22, 2014, Samara, Russia) / Under the Editorship of Member of the Academy of Sciences E. A. Fedosov, Member of the Academy of Sciences N. A. Kuznetsov, Professor V. A. Vittikh. – Samara : Samara RAN [the Russian Academy of Sciences] Research Center, 2012. – Pp. 305 – 320.
7. Computer Support Facilities for Knowledge Acquisition [Digital Resource]. – Available at: <http://itteach.ru/predstavlenie-znaniy/sredstva-kompiuternoy-podderzhki-priobreteniya-znaniy>.
8. Gavrilova T. A. Knowledge Bases for Intelligent systems – 2001 [Digital Resource]. – Available at: <http://itteach.ru/predstavlenie-znaniy/sredstva-kompiuternoy-podderzhki-priobreteniya-znaniy>.

**Evgeniy Vladimirovich Yurkevich,**

*D. Sc. in Engineering, Professor, Member of Russian Academy of Sciences,  
Chief of Laboratory.*

*V.A. Trapeznikov Institut of Control Sciences of Russian Academy of Sciences.  
Tel.: (916) 318-86-77. E-mail: yurkevitch.evgenij@yandex.ru.*

**Valeriy Alexandrovich Ivanov**

*Ph. D. in Engineering Science,  
Deputy Division Chief TsNII Mashinostroyeniya.*

**Ekaterina Mikhailovna Tverdokhlebova,**  
*Ph. D. in Engineering Science,  
Division Chief TsNII Mashinostroyeniya.*

*Tel.: (495) 513-45-86.*

**Iraida Alexandrovna Stepanovskaya,**

*Ph. D. in Engineering Science, Leading Research Scientist  
V.A. Trapeznikov Institut of Control Sciences of Russian Academy of Sciences.  
Tel.: (495) 334-91-69.*