

Особенности информационной поддержки в обеспечении живучести космического аппарата при электрофизических воздействиях

Евгений В. Юркевич, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук, Москва, Россия, e-mail: 79163188677@yandex.ru

Лидия Н. Крюкова, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук, Москва, Россия.

Сергей А. Салтыков, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук, Москва, Россия.



Евгений В.
Юркевич



Лидия Н. Крюкова



Сергей А.
Салтыков

Резюме. С целью повышения оперативности принятия решений при обеспечении живучести космического аппарата (КА) в полете поставлена проблема повышения эффективности адаптации его системы управления к влияниям внешней среды. Контрольно-измерительная аппаратура, установленная на большинстве отечественных КА, часто не позволяет выявлять и своевременно устранять причины аварий из-за задержек в идентификации сбоев и отказов. Предложена технология, ориентированная на интеллектуализацию управления. Контур управления КА предложено дополнить экспертной системой, включающей «Систему поддержки прогнозных решений» и «Модуль моделирования и коррекции управления». В связи с многозначностью, и часто неопределенностью, космических явлений предложено использовать мониторинг не внешних воздействий, а прогноз реакций на них средств оснащения КА. Интеллектуальность экспертной систем предложено обеспечивать использованием анализа коммуникационной среды, определяющей возможности обеспечения живучести КА. Коррекцию управления предложено проводить не на базе результатов контроля технологических параметров, а знаний. Носителями таких знаний являются эксперты, имеющие опыт в области выполнения полетных заданий КА. Результаты аудита внешних воздействий и развития реакций функциональных блоков КА представляют собой исходные данные. После фильтрации, сортировки и статистического анализа предложено их рассматривать как информационные ресурсы. Результаты анализа этих ресурсов и синтез сообщений на основе выводов экспертов преобразовывает такие ресурсы в знания, которые используются для принятия решений о коррекции управления. Разнообразие схем и технологий построения функциональных блоков КА определило необходимость использования экспертов с различной специализацией. Прогноз развития реакций средств оснащения КА предложено формировать в виде описания динамики многофакторного сочетания результатов intersubъектного аудита работы функциональных блоков и субъективных оценок экспертов. Для обеспечения оперативности анализа информации в Базе знаний, предложено использовать технологию комплексного многомерного анализа OLAP. В частности, использовать быстрый анализ разделяемой многомерной информации, включающий требования к приложениям для многомерного анализа. Предложенная модель систематического накопления и обработки знаний позволит руководителю полета своевременно обнаруживать неадекватности в управленческих воздействиях. Возможность осуществления логического и статистического анализа, характерного для данного приложения определит предоставление эксперту результатов анализа за время, достаточное для устранения причин сбоев и отказов в работе средств оснащения КА. Многомерное концептуальное представление данных, включая поддержку для множественных иерархий определит возможность обращаться к любой нужной информации независимо от ее объема и места хранения. Предложенная методология информационной поддержки прогноза реакций средств оснащения КА рассмотрена в применении к анализу электрофизических воздействий на КА на околоземных орбитах. Соединение методов компьютерной обработки данных и intersubъектного анализа работы функциональных блоков должно обеспечивать эффективность принятия решений на основе повышения точности и оперативности обработки данных, и, соответственно, выбора сценария адаптации работы КА в целом с учетом предпочтений руководителя полета.

Ключевые слова: живучесть космического аппарата, электрофизические воздействия, интеллектуализация управления, экспертная система, система поддержки прогнозных решений, моделирование и коррекция управления, сетевая среда экспертов, управление знаниями, intersubъектный аудит, субъективные оценки экспертов, технология комплексного многомерного анализа данных.

Формат цитирования: Юркевич Е.В., Крюкова Л.Н., Салтыков С.А. Особенности информационной поддержки в обеспечении живучести космического аппарата при электрофизических воздействиях // Надежность. 2016. № 4. С. 30-35. DOI: 10.21683/1729-2646-2016-16-4-30-35

Введение

Опыт работы на околоземных орбитах показал, что эффекты воздействия факторов галактического происхождения, а также динамика околообъектовых воздействий могут существенно влиять на эффективность работы космических аппаратов (КА). Таким образом, наряду с необходимостью совершенствования надежного проектирования КА на земле, весьма актуальной является проблема оперативного обеспечения его живучести при влияниях внешней среды во время полета. В данной статье предлагается исследование механизмов обеспечения устойчивости КА к электрофизическим воздействиям (ЭФВ).

Средства учета электрофизических факторов традиционно работают на данных, получаемых со штатных приборов первичной информации (ППИ)¹. Однако контрольно-измерительная аппаратура, установленная на большинстве отечественных КА, не позволяет идентифицировать сбои и отказы, что затрудняет выявление причин аварий. В результате, вследствие низкой оперативности в адаптации к влияниям внешней среды, устойчивость работы КА может быть нарушена.

Подход, предлагаемый в данной работе, ориентирован на интеллектуализацию управления с помощью введения Экспертной системы, позволяющей компенсировать развитие реакций КА на электрофизические воздействия. В Базу данных, определяющих сигналы управления, к информации от штатно используемых ППИ предлагается добавлять сообщения о погрешностях в работе электронной аппаратуры, а также механических и электромеханических устройств. Схема введения интеллектуализации в управление КА представлена на рисунке 1.

Функции Экспертной системы

Экспертную систему предлагается формировать из Системы поддержки прогнозных решений (СППР) и Модуля моделирования и коррекции управления. Согласованность работы Экспертной системы и Штатного контура управления должна определяться использованием Базы данных о внешних ЭФВ и сообщений о соответствии технической документации и результатов аудита работы функциональных модулей КА в реальном масштабе времени.

Ввод данных в эту Базу может осуществляться:

- автоматически:

1) получением сообщений с ППИ и датчиков работы функциональных блоков КА;

2) набором статистики о реакциях КА на внешние воздействия;

¹ Например, датчики электрических и магнитных полей, датчики потоков энергичных частиц солнечного и галактического происхождения и др.

3) анализом заносимых в базу данных сообщений об изменениях в составе оснащения КА;

- полуавтоматически:

1) считыванием штрих-кодов устанавливаемого оборудования;

2) космонавтом, ответственным за работу конкретного функционального блока;

3) специалистами ЦУПа.

Модуль моделирования и коррекции управления должен представлять собой блок Экспертной системы, функцией которого является адаптация сигналов Штатного контура управления к характеристикам КА, изменяющимся вследствие реакций на внешние воздействия. Адаптация может быть в виде изменения сигналов управления, но может быть и в виде изменения состава модулей. Вторым видом адаптации предлагается реализовать введением нового функционального блока при сбое или отказе какого-либо устройства в существующем канале управления.

В любом случае для формирования сигнала, обеспечивающего устойчивость работы КА к внешним воздействиям, требуется анализ сочетания информации, поступающей от Штатного контура управления и от Экспертной системы. Важной особенностью предлагаемой схемы выработки такого сигнала является информационная поддержка прогноза реакций КА на ЭФВ. Для этого нами предлагается ввести Модуль интеллектуального управления, обеспечивающий устойчивость работы функциональных модулей КА при внешних воздействиях.

В силу разнородности внутренних факторов, определяющих реакции КА на внешние воздействия, будем полагать, что информация, поступающая в Экспертную систему, должна анализироваться специалистами (экспертами) различного профиля. Следовательно, для организации работы такой системы требуется использовать технологию интересубъектного аудита.

Другой особенностью обеспечения живучести КА является тот факт, что на скорость и качество управления большое влияние оказывает достоверность поступающей информации, которую невозможно проверить непосредственно, и быстрота её представления лицу, принимающему решения (ЛПР). Иными словами, проблема эффективности решений жестко связана со скоростью предоставления экспертам необходимой информации. Поэтому компьютерная Система поддержки прогнозных решений (СППР) должна являться непререкаемым блоком предлагаемой Экспертной системы.

В практических условиях для обеспечения эффективности управления требуется учитывать:

- характер распределённости СППР, т.е. использование технологии принятия группового или индивидуального решения;

- типы структурированности задач компенсации внешних воздействий, т.е. возможность использования аналитических моделей, численных оценок или качественных характеристик;

- характер оценки эффективности решений, т.е. возможности объективной оценки результатов корректирующих воздействий;

- характер ситуации, в которой принимается решение, т.е. стрессовость ситуации, имеющийся опыт ЛПР и т.д.

Для повышения оперативности управления адаптивность КА к воздействиям внешней среды предлагается обеспечивать в соответствии с прогнозом режимов его работы. Такой прогноз предлагается формировать в виде описания динамики многофакторных ситуаций. Под ситуацией будем понимать характеристику живучести КА при выбранной стратегии выработки корректирующих сигналов.

Стратегическая модель многофакторной ситуации

Полетное задание определяет требования к живучести КА. Однако такую задачу можно отнести к классу некорректных, т.к. конструкция КА обычно допускает множество возможных решений в адаптации управления при одинаковых внешних воздействиях. В этой связи обеспечение устойчивости работы функционального модуля предлагается оценивать с помощью модели (1):

$$\langle S, k_1, \dots, k_m, R \rangle \quad (1)$$

где $S = \{s_i, i = 1, 2, \dots, m\}$ – множество стратегий выработки корректирующих сигналов, определяемых характеристиками программно-технических средств (ПТС), входящих в рассматриваемый модуль. Предполагается, что на основании таких сигналов возможно обеспечивать живучесть КА при воздействиях факторов внешней среды. В дальнейшем процессы адаптивности к ЭФВ будем называть множеством вариантов, и ограничивать условиями живучести при выполнении полетного задания;

k_1, \dots, k_m – экспертные оценки вероятности работы модуля КА без отклонений от значений параметров, определенных полетным заданием, в случае принятия i -й стратегии;

R – отношение нестрогого предпочтения.

Пусть выбор стратегии обеспечения живучести КА проводится с помощью экспертов¹. В модели (1) ценность каждого варианта s_i из множества S всех (возможных) вариантов характеризуется значениями экспертных оценок k_i .

Под оценкой k_i понимается величина, определенная на множестве S и принимающая значения из множества X , называемого шкалой. В рассматриваемой задаче такая шкала определяется множеством градаций в оценках перспективности средств, обеспечивающих адаптивность работы КА к внешним воздействиям.

¹ В данной работе к экспертам предлагается относить космонавтов и сотрудников ЦУПа.

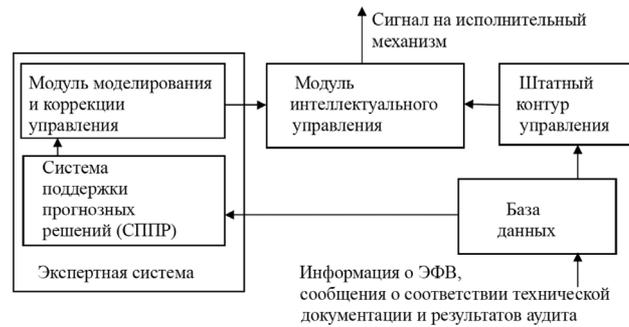


Рисунок 1. Блок-схема системы интеллектуализации управления в КА.

Без ограничения общности предлагаем считать, что все оценки выражены в численном виде и большие значения предпочтительней меньших. Таким образом, каждый вариант s_i характеризуется значениями $k_i(s)$, формирующими вектор оценок данного варианта $x(s) = (k_1(s), \dots, k_m(s))$. В модели варианты сравниваются по предпочтительности посредством сопоставления их векторных оценок. Множество всех векторов оценок: $X = x_1 \dots x_m$.

Предполагается, что оценки являются однородными, т.е. имеют одинаковую (общую) шкалу $x_0 = x_1 = \dots = x_m$. Если оценку k_j заменить на $\xi(k_j)$, где ξ – некоторое допустимое преобразование, определяемое типом шкалы, то и все остальные оценки k_i следует заменять на $\xi(k_i)$. Примем также, что множество x_0 конечно: $x_0 = \{1, \dots, q\}$. Элементы этого множества будем называть шкальными градациями.

Предпочтения эксперта моделируются отношением предпочтения R на X : xRy . Это означает, что вектор оценок x не менее предпочтителен, чем y . Отношение R порождает отношения безразличия I и (строгого) предпочтения P : xIy , т.е. справедливы выражения xRy и yRx . xPy выполнено, когда верно xRy и неверно yRx .

Для общности обозначений будем использовать отношение предпочтения, принятое при моделировании метода взвешенной суммы R^V [1]. Для моделирования предпочтений, определенных с помощью функции ценности, будем использовать отношение предпочтения R^f . Кроме того, предлагается рассматривать не «веса» оценок, как принято в методе взвешенной суммы, а важность их числовых значений, используя терминологию теории важности оценок. Понятия «веса» и важности оценки несколько различны, но для практических выводов в данном исследовании это несущественно.

Важность изменений в характеристиках работы КА нами оценивается в форме парного сопоставления значений α (важность первой оценки) и β (важность второй оценки). Предполагается, что значения важности оценок являются целыми числами от 1 до m .

Сделаем предположение, что эксперту проще определять отношения важности значений оценок как отношение небольших целых чисел. Функцию ценности предлагаем задавать в аддитивном виде, сопоставляя каждой шкальной градацией k её ценность $v(k)$. Обозначим через w отношение разности ценности шкальных градаций. Оно показывает степень «затухания» роста предпочтений эксперта.

$$d_k \leq \frac{v(k+1) - v(k)}{v(k+2) - v(k+1)} \leq u_k, k = 1, \dots, q-2.$$

Предполагается, что d_k и u_k постоянно для всех граций и $w = u_k$, а также, что $w > 1$, $\alpha = 1/w$.

В силу разнообразия внешних воздействий КА рассматривается как сложная система, т. е. как объект, характеризуемый функциями, выполняемыми его модулями, и алгоритмами взаимосвязи этих функций. В этом случае множество $\{k_1, \dots, k_m\}$, характеризующее живучесть КА, будем рассматривать как совокупность оценок функциональной надежности работы КА.

Важной особенностью рассматриваемой задачи является отсутствие однозначных числовых характеристик в описании воздействий внешней среды. Поэтому задачу обеспечения живучести КА при внешних влияниях предлагается решать в категориях нечетких логик (нечетких множеств).

В данной работе нечетким предлагается называть множество упорядоченных пар: $A = \{u, \mu_A(u)\}$, составленных из элементов универсального множества U в совокупности с функцией $\mu_A(u)$, $u \in A$, которая определяет меру членства или иначе функцию принадлежности. Функция $\mu_A(u_i)$ указывает предполагаемую степень принадлежности элемента u_i множеству A . Основная особенность данной функции заключается в том, что она характеризует субъективное представление эксперта о характере процесса развития реакции КА на внешние воздействия. При этом предполагается, что у другого эксперта вид функции $\mu_A(u_i)$ может быть другим.

Для качественного описания подобных количественных понятий в рассматриваемой задаче предлагается вводить лингвистические переменные. Лингвистической будем называть переменную, заданную на качественной шкале и принимающую значения слов и словосочетаний естественного языка.

В данной работе преимущество использования нечеткой логики перед классическим подходом заключается в том, что при нечетком подходе формульное представление внешних воздействий может не делаться. Во многих случаях достаточно только описания того, как на такие воздействия реагирует КА, в то время как при классическом подходе необходимы формализация описания внешних воздействий и внутренних факторов, определяющих реакции КА на эти воздействия.

Следует отметить, что по мере увеличения разнообразия отклонений в работе КА при внешних воздействиях (увеличения значения m в выражении (1)) способность экспертов делать точные значащие утверждения снижается. В пределе возможен порог, за которым точность и значимость становятся почти взаимоисключающими характеристиками.

Для выявления такого порога требуется применение Закона необходимого разнообразия. Известно [3], что применительно к нашей задаче разнообразие внешних воздействий может быть компенсировано только разнообразием сигналов, адаптирующих работу КА. В этом случае будем полагать, что для выбора стратегии с помощью модели (1) эксперт должен обладать необходимым опытом и знаниями,

уметь анализировать ситуации, прогнозируя динамику реакций КА на воздействие внешней среды.

Условием передачи информации без искажений, доказанным К. Шенноном для сигнала без шума [4], является отсутствие превышения мощности источника над пропускной способностью канала связи. В рассматриваемых системах оценки мощности источника информации и пропускной способности каналов связи весьма затруднительны. Однако в нашем случае эффективность адаптации КА к внешним воздействиям может оцениваться важностью ошибок в сообщениях, передаваемых между функциональными модулями. Будем полагать, что глубина отклонения от штатного режима в работе управляемого модуля определяется величиной искажения в информации, принятой им от управляющего модуля.

Для рассматриваемой задачи примем, что эти искажения соответствуют превышению мощности информационного потока над пропускной способностью канала связи. В таком случае, как следствие из упомянутого условия К. Шеннона, сформулируем условие функциональной надежности системы управления при отсутствии помех: *Если функциональная надежность управляемого модуля не меньше функциональной надежности управляющего модуля, то при отсутствии помех работу системы этих модулей всегда можно построить так, что её функциональная надежность будет соответствовать функциональной надежности управляющего модуля без дополнительных коррекций и перекодирования.*

Методически предлагаемый в статье подход к пониманию функциональной надежности системы управления основан на оценке вероятности отсутствия сбоев в работе КА [5]. Модель (1) позволяет выбрать стратегию обеспечения живучести КА к воздействию внешних факторов. Анализ вариантов изменений в реакциях модулей КА является базой для прогноза последствий в этих изменениях.

Предполагается, что характеристики средств обеспечения живучести КА, требования к оценкам глубины адаптивности работы функциональных модулей, а также требования к форме представления результатов управляющих воздействий определяются полетным заданием. В этом случае можно полагать, что эффективность коррекции сигналов управления во многом зависит от эффективности компьютерной поддержки прогнозных решений.

Система поддержки прогнозных решений (СППР)

Известно более двухсот программных пакетов, которые возможно использовать в поддержке технологии прогнозирования развития состояния сложных объектов или процессов [6]. Они относительно хорошо работают, когда развитие стационарно, т. е. характеристики динамики процесса слабо меняются во времени. Эти программы хорошо работают и в том случае, когда функция изменения характеристик процесса или объекта известна.

В данной работе требуется оперативное принятие решений, обеспечивающих адаптивность работы функ-

циональных модулей к влиянию внешних факторов с учетом специфики реакций КА на влияния неизвестной природы и с неизвестной динамикой интенсивности. В этом случае предлагается формировать экспертный прогноз реакций КА на основании интересубъектного аудита работы его функциональных модулей.

В организации работы такой СППР выделим три основные задачи:

1. Поиск, анализ и обработка текущей информации:

- экспресс-анализ предметных областей с выделением ключевых изменений в работе функциональных модулей КА;

- идентификация информации о конкретном функциональном модуле в базе данных;

- выделение наиболее значимых воздействий, определяющих развитие ситуации на КА;

- кластеризация информации с возможностью снижения размерности составляющих корректирующего сигнала;

В СППР должны быть предусмотрены возможности:

- автоматическая выгрузка и преобразование информации в заданный формат;

- отделение динамических ссылок на источник информации (данные технической документации, информация с ППИ, результаты мониторинга работы функциональных модулей);

- одновременный мониторинг независимых модулей, предоставляющих данные о развитии реакций КА на внешние воздействия;

- установка времени повторения просмотра каждого из модулей на наличие новых сообщений;

- формирование отчетов в период работы, установленный полетным заданием, с указанием количества загруженных сообщений;

- добавление в начало каждого сообщения названия источника и даты поступления;

- задание формата выходного файла;

- загрузка новых сообщений без участия оператора;

- установка режима загрузки по требованию (отключение автопросмотра);

- установка автоматической загрузки;

- уведомление о новых сообщениях;

- отслеживание аварийных ситуаций.

2. Ведение архивов данных:

- создание документального архива и внутренних документов с развитыми функциями поиска информации;

- создание архива формальных досье (с развитыми функциями поиска) на каждый из функциональных модулей;

- автоматизация регулярного мониторинга функциональных модулей;

- выявление связей между реакциями модулей, корреляций между внешними воздействиями;

- автоматизация подготовки отчетов и аналитических записок;

- возможность изменения структуры базы данных (добавление новых реквизитов и типовых объектов в процессе эксплуатации системы);

- организация хранения информации об объектах мониторинга, о событиях, данных из внешних баз данных в едином информационном хранилище;

- автоматизированное выделение фактов упоминания объектов, отношений и событий;

- визуализация знаний в виде семантической сети;

- возможность поиска неявных (опосредованных) связей между реакциями модулей.

3. Анализ состояния и выдача рекомендаций по принятию управленческих решений.

СППР должна обеспечить сочетание рассчитанных предпочтений с оценками экспертов, полученными на основании использования устоявшихся (или вновь разработанных) математических методов, реализованных в программном обеспечении и аппаратных средствах.

Первые две задачи не являются управленческими, но от эффективности функционирования программно-аппаратных подсистем, реализующих эти задачи, зависит живучесть КА. Эти задачи являются классическими, поэтому для их решения предлагается использовать программное обеспечение, имеющееся на рынке. Практика показывает, что третья задача может реализоваться с помощью существующих программных продуктов, но сочетание использования нечетких логик с необходимостью принятия оперативных решений за время, ограниченное развитием деструктивных процессов на КА в результате внешнего ЭФВ, накладывает свою специфику.

СППР предлагается формировать как распределенную систему. Иерархически она должна подразделяться на несколько уровней процесса прогнозирования. Примером аналогичного разделения может служить структура системы *Sun Management Center*, с выделением уровней мониторинга, серверов и агентов. В нашем случае в качестве агентов могут рассматриваться эксперты.

Уровень мониторинга предполагает необходимость учета специфики интерфейса между запросами экспертов и результатами интересубъектного аудита развития реакции КА на внешние воздействия. На этом уровне возможно использование монитора Java, монитора сети и спецификации формулировки запросов. Для одного и того же сервера такие мониторы должны обеспечивать:

- представление характеристик работы функциональных модулей, например, в виде таблиц или графиков;

- способность управлять признаками и свойствами, которые контролируют работу функциональных модулей, например, дают информацию о приближении к допустимому порогу изменения их характеристик;

- способность инициализировать задачи управления, например, динамическую реконфигурацию характеристик работы модулей.

Уровень серверов принимает запросы через монитор и направляет эти запросы соответствующему эксперту. Ответ эксперта сервер возвращает монитору. Кроме того, сервер с помощью интерфейса предоставляет монитору безопасную точку входа для связи с экспертами.

Уровень экспертов предназначен для сбора информации и формирования корректирующих воздействий на команды

управления. Эксперты должны использовать правила определения состояния контролируемых модулей. Если правила нарушаются, программное обеспечение автоматически генерирует тревоги и выполняет действия, предопределенные соответствующим правилом обеспечения живучести КА.

В системах анализа текущей информации в настоящее время широко используется концепция «управления знаниями». В предлагаемой Экспертной системе, согласно этой концепции, основной целью управления знаниями (*Knowledge management – KM*) является создание эффективной коммуникационной среды, позволяющей находить и использовать не информацию, а знания, носителями которых являются эксперты, имеющие опыт в области выполнения полетных заданий КА.

Такой подход объясняется тем, что фактически результаты аудита ЭФВ и развития реакций функциональных модулей КА представляют собой только исходные данные. После фильтрации, сортировки и статистического анализа они превращаются в информационные ресурсы. Результаты анализа этих ресурсов и синтез сообщений на основе выводов экспертов преобразовывает эти ресурсы в знания, которые используются для принятия решений о коррекции управления.

В решении рассматриваемой задачи, для оперативного анализа содержащихся в Базе данных, предлагается использовать технологию комплексного многомерного анализа *OLAP*. В частности, тест *FASMI (Fast Analysis of Shared Multidimensional Information* – быстрый анализ разделяемой многомерной информации), включающий требования к приложениям для многомерного анализа:

1) предоставление эксперту результатов анализа за приемлемое время (обычно не более 5 с), пусть даже ценой менее детального анализа;

2) возможность осуществления любого логического и статистического анализа, характерного для данного приложения, и его сохранения в доступном для конечного пользователя виде;

3) многопользовательский доступ к данным с поддержкой соответствующих механизмов блокировок и средств авторизованного доступа;

4) многомерное концептуальное представление данных, включая полную поддержку для иерархий и множественных иерархий;

5) возможность обращаться к любой нужной информации независимо от ее объема и места хранения.

Следует отметить, что в применении к рассматриваемой задаче функции *OLAP* могут быть реализованы различными способами, начиная с простейших средств анализа данных в приложениях и заканчивая сложными распределенными аналитическими системами [7].

Заключение

Рассмотрение возможностей использования информационных технологий в решении проблемы обеспечения живучести КА при внешних воздействиях показало особенности интеллектуализации компьютерной поддерж-

ки управления. На основе прогноза развития реакций функциональных модулей КА на ЭФВ предлагаемая модель систематического накопления и обработки данных позволит ЛПП своевременно обнаруживать неадекватности управленческих воздействий.

Особенностью предлагаемой методологии информационной поддержки прогноза реакций КА на ЭФВ является соединение методов компьютерной обработки данных и интересубъектного анализа работы функциональных модулей. Такой подход должен обеспечивать эффективность принятия решений на основе повышения точности и оперативности обработки данных, и, соответственно, выбора сценария адаптации работы в целом КА к ЭФВ с учетом предпочтений руководителя полета.

Библиографический список

1. Подиновский В. В., Потапов М. А. Метод взвешенной суммы критериев в анализе многокритериальных решений: pro et contra // «Бизнес-информатика». – 2013. – № 3(25). – С. 41–48.
2. Ст. Бир Кибернетика в управлении производством – М.: «Наука», 1968, с. 74.
3. Эшби У. Р. Введение в кибернетику. – М.: «Иностранная литература», 1959.
4. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. – М.: Изд. Иностранной литературы, 1963.
5. Смит Д. Дж. Безотказность, ремонтпригодность и риск. Практические методы для инженеров, включая вопросы оптимизации надежности и систем, связанных с безопасностью. – М.: ООО «Группа ИТД», 2007. – 432 с.
6. Трахтенгерц Э.А., Иванилов Е.Л., Юркевич Е.В. Современные компьютерные технологии управления информационно-аналитической деятельностью. – М.: СИНТЕГ, 2007.
7. Шубинский И.Б. Функциональная надежность информационных систем. Методы анализа. – Ульяновск. Областная типография «Печатный двор», 2012. – 216 с.

Сведения об авторах

Евгений В. Юркевич, доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук, Москва, Россия, e-mail: 79163188677@yandex.ru, тел. 8-495-334-88-70.

Лидия Н. Крюкова, научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук, Москва, Россия, тел. 8-495-334-88-70.

Сергей А. Салтыков, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук, Москва, Россия, тел. 8-495-334-88-70.

Поступила 29.04.2016