 DOI 10.25699/SSSB.2019.2(26).32548

05.13.11

АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ НАДЕЖНОСТНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ БОРТОВЫХ СИСТЕМ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Е.В. Юркевич, Д.М.Кривопалов, Л.Н.Крюкова
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт проблем управления им. В.А Трапезникова Российской академии наук, г.Москва

Целью работы является формирование подхода, позволяющего обеспечивать вероятность эффективной работы космического аппарата на орбите. Сегодня решение такой проблемы усложняется повышением требований к сроку его активного существования. Традиционный способ создания космического аппарата предполагает необходимость подтверждать уровень надежности боровых систем на каждом из этапов жизненного цикла. Однако снижение ресурса надежности функциональных модулей при стендовых испытаниях как правило уменьшает срок активного существования космического аппарата, а для оценки надежности требуются результаты летных испытаний.

В данной работе предлагаются некоторые механизмы, позволяющие снижать затраты ресурсов на создание бортовых систем при повышении требований к сроку активного существования космического аппарата. Описанный подход к обеспечению отказоустойчивости невосстанавливаемых модулей бортовых систем, основан на компьютерной реализации методов динамического программирования. Последовательное решение одношаговых задач оптимизации определило пути повышения эффективности разработки каждого модуля.

Предлагаемый алгоритм учитывает взаимосвязи между характеристиками элементов различных подсистем, а методология системного анализа позволяет решать обратные задачи надежности, используя решения для прямых задач. Показано, что эффективность идентификации технического состояния бортовых систем с помощью многокритериальных оценок во многом обеспечивается совместимостью и взаимосвязанностью результатов расчетов для каждого модуля по каждому из критериев.

В качестве инструментов для оценки правильности решений по стабилизации характеристик работы космического аппарата предложна методология виртуального моделирования испытаний боровых систем, основанного на использовании решений предыдущих задач. Предлагается методология риск-контроллинга, реализуемая на построении многоагентной системы экспертного наблюдения, в которой модель контролируемых процессов представляется в виде зависимости динамики синергетических эффектов от взаимодействия факторов влияния на параметры бортовых систем. Алгоритмизация такого подхода позволила вводить автоматизацию в процесс надежностного проектирования, что снижает затраты на создание бортовых систем в целом, а обоснование необходимого числа испытаний может уменьшить время разработки соответствующих функциональных модулей.

Ключевые слова: надежностное проектирование, срок активного существования космического аппарата, бортовые системы, компьютерная реализация методов динамического программирования, многокритериальные оценки.

ВВЕДЕНИЕ

Разработка и производство программно-технических средств для боровых систем (БС) космических аппаратов (КА) является крайне дорогостоящим и длительным процессом. В современных реалиях проблема повышения эффективности такого процесса приобретает все большую актуальность. В данной работе предлагаются некоторые механизмы, позволяющие снижать затраты ресурсов при создании БС.

Сегодня, с повышением требований к эффективности работы КА на орбите, повышаются требования к сроку его активного существования (САС). Ставится задача создания функциональных модулей с повышенной надежностью при ограничении использования ресурсов на этапе разработки.

Традиционный способ проектирования КА предполагает необходимость подтверждать уровень надежности БС, соответствующий требованиям, указанным в техническом задании (ТЗ) на разработку. Такое подтверждение может быть получено в результате испытаний, а также на основании теоретико-аналитических расчетов. Однако при стендовых испытаниях, как правило, расходуется ресурс надежности модулей БС, уменьшая тем самым САС КА, а для расчетов требуются данные, которые не могут быть получены без проведения летных испытаний.

Перспективным подходом к обеспечению отказоустойчивости невосстанавливаемых модулей БС является их надежностное проектирование [1]. В отличие от традиционного предлагаемый подход основан навведении механизмов компьютерного поиска возможных вариантов построения БС и выбора парамет-

ров их функциональных модулей, при которых выполняются требования тактико-технического задания (ТТЗ).

В данной работе надежностное проектирование предлагается проводить в два этапа. На первом оценивается надежность функциональных модулей разработанной БС (прямая задача). Если надежность представленной БС удовлетворяет требованиям ТТЗ, задача решена. Если надежность БС меньше требуемой, то предполагается переход ко второму этапу.

На втором этапе в построении функциональных модулей находят оптимальные конструктивные решения, позволяющие обеспечить требуемый уровень надежности БС (обратная задача). Вследствие многовариантности теоретически возможных решений задача выбора является некорректной. Для практического применения такого подхода требуется разработка механизмов обеспечения требуемой надежности, эффективных по затратам ресурсов.

Разнообразие конструктивных и программных возможностей совершенствования БС определило необходимость использования средств автоматизации. В данном случае оптимальность выбора будем обеспечивать с помощью введения методов динамического программирования. Такой подход позволит перейти от решения исходной многошаговой задачи оптимизации к последовательному решению нескольких одношаговых задач оптимизации.

В этом случае будем полагать, что требования ТТЗ могут быть выполнены при объединении решений многократно повторяющегося алгоритма решения прямой задачи при различных исходных данных, т. е. различных значениях параметров модулей БС. Применяя метод Кэширования, каждая такая задача решается только один раз, тем самым сокращается общее количество вычислений.

МЕХАНИЗМ ИДЕНТИФИКАЦИИ МНОГОФАКТОРНЫХ СИТУАЦИЙ В СРЕДЕ ОЦЕНОК ПАРАМЕТРОВ В РАЗЛИЧНЫХ ПРЕДМЕТНЫХ ОБЛАСТЯХ

В силу разнообразия воздействий внешних и внутренних факторов БС рассматривается как сложная система, т. е. как объект, характеризуемый функциями, выполняемыми его элементами, и алгоритмами взаимосвязи этих функций. Ставится задача разработки механизма идентификации состояний БС, позволяющего с помощью модели многофакторных ситуаций формировать пути повышения эффективности доработки каждого модуля, что должно обеспечить уровень надежности БС, требуемый в ТТЗ.

Предлагаемый механизм позволит оптимизировать использование ресурсов при обеспечении стойкости каждого модуля БС к воздействию внешних и внутренних факторов. Синтез вариантов изменений в ситуациях позволит оценивать следствия этих изменений с помощью компьютерной системы поддержки прогнозных решений.

Представим многокритериальную модель идентификации многофакторных ситуаций в виде аналогичном модели [2]:

$$<S, k_1, \dots, k_m, R>, \quad (1)$$

где: S – множество альтернатив в допустимых решениях по обеспечению надежности БС, определяемых требованиями к защите от воздействия внешних и внутренних факторов, далее называемое множеством вариантов;

$K_1,\dots,K_m$ – критерии, назначаемые экспертно в соответствии с реакциями средств защиты БС от внешних воздействий;

R– отношение нестрогого предпочтения.

В модели (1) каждый вариант из множества допустимых вариантов характеризуется значениями критериев K_i. Под критерием K_i будем понимать функцию, определенную на множестве S и принимающую значения на шкале множества X_i.

Без ограничения общности предлагаем, что все оценки выражены в численном виде, и большие значения предпочтительней меньших. Таким образом, каждый вариант характеризуется значениями $K_i(s)$ всех критериев, формирующих вектор оценок этого варианта, или его векторную оценку $x(s)=(K_1(s),\dots,K_m(s))$. Следовательно, варианты сравниваются по предпочтительности посредством сопоставления их векторных оценок. Множество всех векторов оценок $X = X_1\dots X_m$.

Пусть все критерии являются однородными, т. е. имеют одинаковую шкалу $X_0 = X_1 = \dots = X_m$. В этом случае, если критерий K_j заменить на $\xi(K_j)$, где ξ – некоторое допустимое преобразование, определяемое типом шкалы, то и все остальные критерии K_i следует заменить на $\xi(K_i)$. Примем также, что множество X_0 конечно: $X_0 = \{1,\dots,q\}$. В данном рассмотрении элементы этого множества будем называть шкальными градациями.

Если предпочтения разработчика моделируются отношением Rна X: xRy, то будем полагать, что вектор оценок xне менее предпочтителен, чем y. Отношение R порождает отношения безразличия I: xIy имеет место, когда справедливо xRy и yRx; и отношение строгого предпочтения P, когда верно xRy и неверно yRx.

В дальнейших построениях будем использовать отношение предпочтения при моделировании метода взвешенной суммы R^V. Для моделирования предпочтений, определенных с помощью функции ценности, будем использовать отношение предпочтения R^f.

В данной работе предлагается говорить не о «весах» критериев, как принято в методе взвешенной суммы, а о количественной оценке важности критериев. Понятия «веса» и важности критерия несколько различны, но для решения поставленной задачи это

несущественно. Информацию о количественной важности критериев предлагается использовать в форме чисел α (значение оценки важности первого критерия) и β(значение оценки важности второго критерия). Предполагается, что оценки важности этих критериев выражаются целыми числами от 1 до *l*. Кроме того, предполагается, что разработчику проще и естественней определять отношения оценок важности критериев как отношение небольших целых чисел.

Функцию ценности будем задавать в аддитивном виде, сопоставляя каждую шкальную градацию k с ее ценностью $v(k)$. Исходя из специфики задачи, будем полагать, что отношение разности ценности шкальных градаций должно быть в пределах от d_k до u_k. Тогда степень «затухания» роста предпочтений разработчика запишется в виде выражения (2).

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

С точностью, достаточной для практических расчетов, допустим, что u_k постоянно для всех градаций. В этом случае блок-схему предлагаемого механизма идентификации многофакторных ситуаций, возникающих при реализации выбранного проекта обеспечения надежности БС к воздействию околообъектовой среды, представим на рис. 1.

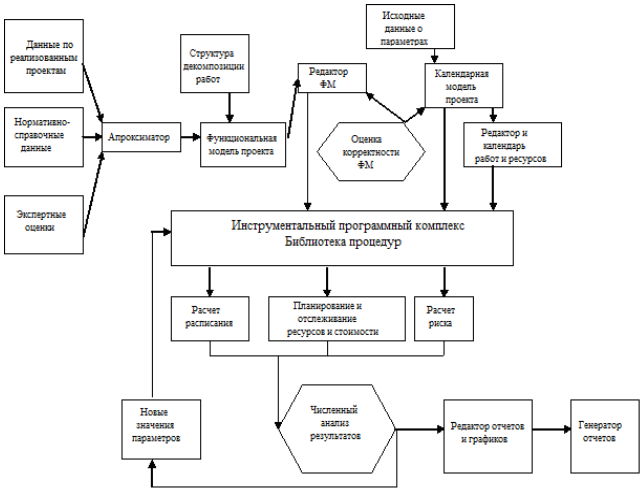

Рис. 1. Механизм идентификации многофакторных ситуаций

Таким образом, предлагается инструмент для повышения эффективности доработки функциональных модулей с учетом организационно-технологических условий обеспечения уровня надежности БС, требуемого ТТЗ для данного КА. Одним из наиболее важных звеньев в таком механизме являются процедуры оценки технического состояния БС.

МЕХАНИЗМ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ БС

В данном рассмотрении примем, что эффективность формируемого механизма многокритериальных оценок во многом обеспечивается совместимостью и взаимосвязанностью результатов расчетов по каждому из критериев. Для этой цели предлагается использовать матричный способ отображения результатов вместо представления вероятности безотказной работы (ВБР) и времени работы. В нашем случае матричное представление предлагается в виде:

$$A = \begin{pmatrix} a_0 & b_0 & c_0 & d_0 \\ a_1 & b_1 & c_1 & d_1 \\ a_2 & b_2 & c_2 & d_2 \\ a_3 & b_3 & c_3 & d_3 \end{pmatrix},$$

$$\Lambda = (\lambda_1 \quad \lambda_2 \quad \lambda_3 \quad \lambda_4),$$

$$T = \begin{pmatrix} t^0 \\ t^1 \\ t^2 \\ t^3 \end{pmatrix}$$

где: A– матрица коэффициентов;

Λ – матрица интенсивностей отказов;

T – матрица степеней времени.

Введем также вспомогательную функцию $F(A, t)$, преобразующую матрицы по следующему правилу: $B = F(A, t)$, где $B_{ij} = e^{-t \cdot A_{ij}}$.

Тогда ВБР БС, характеризуемой матрицей, можно определить по формуле:

$$P(t) = A^T \cdot T \cdot F(\Lambda, t)^T.$$

Пример. При расчетах ВБР функциональных модулей БС традиционно используется экспоненциальный закон распределения отказов во времени. В этом случае функцию ВБР $P(t)$ для ненагруженного резерва будем характеризовать следующими матрицами с соответствующими вспомогательными матрицами T и Λ:

$$P_1(t) = e^{-\lambda_1 t},$$

$$A = (1),$$

$$P_2(t) = (1 + \lambda_1 \cdot t) \cdot e^{-\lambda_1 t},$$

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ \lambda_1 & 0 \end{pmatrix},$$

$$P_3(t) = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} \cdot e^{-\lambda_1 t} + \frac{\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2} \cdot e^{-\lambda_2 t},$$

$$A = \begin{pmatrix} \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} & \frac{\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2} \\ 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

При таком представлении результатов необходима разработка алгоритмов для построения матрицы A, которая будет характеристикой, рассматриваемой БС в целом. Особенность таких алгоритмов заключается в том, что они могут быть сведены к определенному образу пересчета элементов матрицы вместо сложных вычислений производных и интегрирования, что является очень быстрой операцией при машинном вычислении. Однако при приведении расчетов необходимо учитывать возможные влияния, возникающие

при наступлении ситуации «машинного нуля», при которых результаты могут быть в значительной степени искажены.

Таким образом, задача получения алгоритмов прямого решения сводится к построению алгоритмов преобразований матрицы состояния *A*для:

- нагруженных систем в общем виде;
- ненагруженных систем в общем виде;
- недогруженных систем в общем виде;
- алгоритмов «вложения» одного типа резервирования в другой.

Когда получен расчет характеристик состояния БС, появляется возможность вычисления ВБР для любого времени ее САС. Кроме того, появляется возможность вариации параметров функциональных модулей БС. Тогда механизм решения обратной задачи надежности может быть представлен в виде перебора возможных параметров рассматриваемых модулей и оптимизационного поиска наиболее эффективного решения, например, по критерию стоимости или массы БС.

В качестве проверки и подтверждения результатов предлагается использовать виртуальное моделирование состояний БС, например, с помощью «алгоритма Монте-Карло». Суть метода заключается в присвоении времени работы до отказа функциональным модулям БС. Время работы должно удовлетворять требованиям потока случайных событий, то есть удовлетворять требованиям экспоненциального закона. В этом случае путем построения логических цепочек можно сделать вывод о работоспособности всей БС. Виртуальное моделирование позволяет проводить эту операцию многократно, получить статистическую информацию и оценить ВБР независимым способом.

Пример. Пусть некоторая система состоит из пяти элементов, соединенных согласно рис. 2.

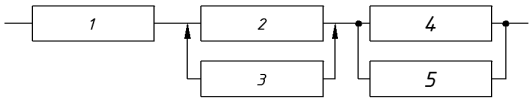

Рис. 2. Структурная схема надежности системы

Присвоим элементам 1–5 время работы до отказа t_1, t_2,…,t_5 соответственно. Пусть *T*– время работы, предъявляемое к системе. Тогда логическая цепочка работоспособности системы имеет вид:

$$[t_1 > T] \text{ И } [(t_2 + t_3) > T] \text{ И } [(t_4 > T) \text{ ИЛИ } (t_5 > T)].$$

Подставляя различные значенияt_1, t_2,…,t_5и считая число «истинных» (успешных испытаний) (N_1) и «ложных» (неуспешных испытаний) (N_0) случаев, определяем ВБР как:$P(T) = \frac{N_1}{N_1+N_0} = \frac{N_1}{N_{общ}}$.

Совпадение (или несовпадение) результатов оценки надежности позволяет сделать вывод о правильности расчета и уровне доверия к результату. С другой стороны, появляется возможность построения графика зависимости ВБР от числа испытаний – *P*(*N*).

На практике функции зависимости лежат в некотором промежутке, уменьшающемся с ростом *N*. По виду графика определяется оптимальное число испытаний, как наибольшее *N*, после которого уровень ВБР не падает ниже указанного в ТТЗ и находится в окрестности рассчитанного уровня, как показано на рис. 3.

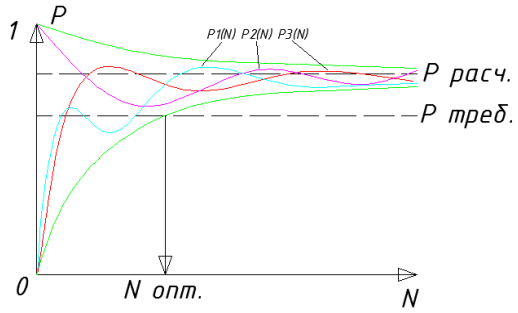

Рис. 3. Графики зависимости ВБР от числа испытаний

ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ НАДЕЖНОСТНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ БС НА ОСНОВЕ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ РИСК-КОНТРОЛЛИНГА

Под риск-контроллингом в данной работе понимается многоагентная система экспертного наблюдения, в которой модель наблюдаемых (контролируемых) процессов формально представляется в виде зависимости системной динамики синергетических эффектов от взаимодействия разнообразных факторов влияния.

Особенностью обеспечения заданной надежности контролируемого модуля с применением риск-ориентированного подхода является необходимость выполнения следующих условий:

- информационная инфраструктура блока 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 [2] (рис. 4);

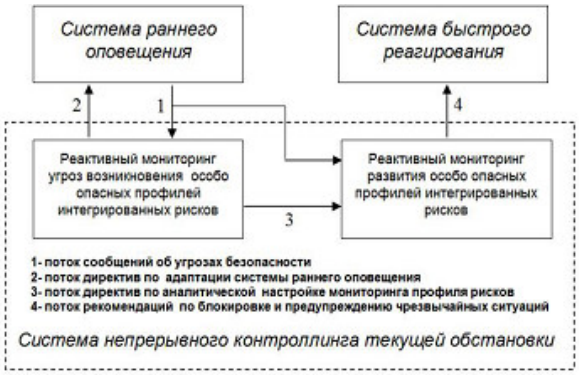

Рис. 4. Алгоритмическая структура реализации системы ED&RR

- подсистема раннего оповещения использует модели системной динамики, которая позволяет планировать процедуры мониторинга, используемого для сбора данных о контролируемых процессах и последующего ситуационного анализа с точки зрения оценки состояния (возникновение, усиление влияния факторов риска, переходв предкризисноесостояние и др.);

- подсистема быстрого реагирования функционирует по результатам и оценкам, поступающим из блока раннего оповещения; концептуально соответствует управлению слабоформализуемыми процессами, характеризуемыми нелинейностью, нестационарностью, междисциплинарностью, распределенностью; не исключает использования формализованных моделей развития, дополняющих описательную модель контролируемых процессов.

Единый формализм алгоритмической структуры контроллинга поддерживает принцип интероперабельности в многоагентных системах контроллинга.

Потоковая обработка реализует индексный способ обработки сообщений в формате «ключ-значение» и предусматривает два хранилища типа «журнала регистрации сообщений», одно из которых ориентировано на функции реактивного мониторинга угроз безопасности, а второе – на реактивный мониторинг развития и масштабного роста соответствующих рисков.

Журнал мониторинга угроз безопасности, получая все сообщения, поступающие от измерительной системы раннего оповещения, в случае обнаружения начала развития особо опасного профиля вырабатывает два типа сообщений: системе раннего оповещения о необходимости ее адаптации на новую программу обеспечения надежности блока, а также о настройке журнала мониторинга развития особо опасных профилей интегрированных рисков. В свою очередь журнал мониторинга развития формирует сообщения системе быстрого реагирования о рекомендациях по принятию мер блокировки и предупреждения чрезвычайных ситуаций. В этом случае предлагаемый алгоритм начинается заново.

Например, семантический анализ информационной инфраструктуры реализации рискориентированного подхода к обеспечению заданной надежности контролируемых модулей низкоорбитальных малых КА показывает, что для конкретной модели информация о характеристиках модификации τ и следующей модификации τ +1 поступает в систему поддержки принятия решений (СППР) [3]. Сравниморганизационные характеристики традиционных средств обеспечения устойчивости функциональных модулей КА и средств, применяемых согласно предлагаемой алгоритмической структуре контроллинга. Табл. 1 содержит сопоставление стоимостных характеристик таких средств. Многофакторность, влияющая на оценку рациональности использования предлагаемого алгоритма, определила введение экспертных оценок эффективности таких разработок по девяти критериям (j), выделенным также экспертно.

Табл. 1. Организационные характеристики разработок средств обеспечения устойчивости КА

Модификация КА	j	Критерии построения средств обеспечения устойчивости КА	Стоимость традиционных средств обеспечения устойчивости КА согласно j-му критерию (тыс. руб.)	Стоимость предлагаемых средств обеспечения устойчивости КА согласно j-му критерию (тыс. руб.)
τ	1	Защита от человеческого фактора	490	470
	2	Защита от сбоев в программном обеспечении	330	320
	…	…	…	…
	8	Защита от ударных воздействий	610	570
	9	Защита от радиации	210	90
$\tau + 1$	1	Защита от человеческого фактора	500	480
	2	Защита от сбоев в программном обеспечении	340	330
	…	…	…	…
	8	Защита от ударных воздействий	610	570
	9	Защита от радиации	90	40

Для проведения анализа эффективности обеспечения устойчивости КА СППР высвечивает на дисплеях экспертов информацию в виде таблицы 2. Ее первый столбец является списком критериев, а второй – содержательной критериальной оценкой результатов, получаемых от системы мониторинга. Из табл. 2 видно, что на основании мониторинга выявляются содержательные оценки текущего состояния средств защиты по всем критериям. Например, эксперт дал оценки, приведенные в табл. 2.

Табл. 2. Критериальная оценка средств защиты

Наименование критериев	Содержательная оценка критерия
1 Эффективность противодействия влиянию околообъектовой среды	Возможна стабилизация работы КА посредством оперативных воздействий
2 Оценка качества средств защиты по сбоям оснащения КА	Защита удовлетворительная
3 Цены сравнительно с ценами традиционной технологии	Существенно ниже
4 Современность конструктивного решения	Современное

5 Достоверность информации по сравнению с аналогичной информацией по традиционной технологии	Сравнима
6 Удобство использования предоставляемых средств защиты по сравнению с аналогичными средствами по традиционной технологии	Более удобно

СППР просит экспертов изменить оценки, с которыми они не согласны. При необходимости СППР может выдать сводную таблицу оценок с указанием числа экспертов, проставивших данную оценку. Такая таблица дает представление о разбросе мнений и оценок. Она может оказаться полезной при принятии решения. Опыт показывает, что в примере с низкоорбитальными малыми КА содержательные оценки критериев почти единодушные. Поэтому нет необходимости согласовывать оценки табл. 1.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ограниченность возможностей известных методов информационного обеспечения экспертных систем определила постановку проблем, связанных с интегрированием этих методов и включением их в технологическую цепочку, единую с системой многопрофильной обработки данных. В этом случае к числу важнейших предлагается относить обеспечение регулярной циклической связи с модулем, поддерживающим мониторинг как средство приобретения и обновления знаний о динамических процессах. Таким образом, в информационную базу включаются инструменты системного приобретения знаний из разнотипных источников, а также средства управления составом источников, режимом извлечения информации и итеративного управления тематической направленностью формируемых баз знаний.

Важными алгоритмическими особенностями предлагаемой структуры контроллинга являются поддержка принципа интероперабельности в многоагентных системах с помощью единого формализма, а также реализация индексного способа обработки сообщений предусматривающего формирование базы знаний в виде двух хранилищ. Одно из таких хранилищ ориентировано на реактивный мониторинг угроз безопасности, а второе – на реактивный мониторинг развития соответствующих рисков.

Предложенный подход позволяет реализовывать эффективные по времени и ресурсам системы оценки надежности БС и их функциональных модулей, учитывающие взаимосвязь отдельных элементов различных подсистем. Кроме того, он позволяет решать обратные задачи надежности, используя сформированные решения для прямых задач в автоматизированном виде. Применяя решения предыдущих задач, становится возможным проводить виртуальное моделирование испытаний БС для оценки правильности полученных решений, а также определение необходимого числа реальных испытаний, что уменьшает время разработки соответствующего функционального модуля. При этом введение автоматизации в процесс надежностного проектирования и моделирования снижает затраты на создание БС в целом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Хенли, Э. Дж., Надежностное проектирование технических систем и оценка риска [Текст] /Э. Дж. Хенли, Х. Кумамото. (Под общ. ред. Ю. Г. Заренина), - Киев: Вища школа, 1987. –542 с.

2. Юркевич, Е.В., Особенности информационной поддержки в обеспечении живучести космического аппарата при электрофизических воздействиях/Е.В. Юркевич, Л.Н. Крюкова, С.А. Салтыков // Надежность.– 2016. – № 4. С. 30–35.

3. Юркевич, Е.В., Виртуализация инжиниринга процессов управления стойкостью космического аппарата к электрофизическим воздействиям: монография / Е.В. Юркевич, А.Г. Полетыкин, В.Г. Промыслов, И.А. Степановская, Л.Н. Крюкова. М.: ИПУ РАН, 2018.–168 с.–ISBN 987-5-91450-215-4.

Юркевич Евгений Владимирович– главный научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления им. В.А Трапезникова Российской академии наук (ИПУ РАН), тел. 8(495)3348870, e-mail:yurk@ipu.ru.

Кривопалов Дмитрий Михайлович, аспирант, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления им. В.А Трапезникова Российской академии наук (ИПУ РАН), тел. 8(495)3348870, e-mail:persival92@rambler.ru.

Крюкова Лидия Николаевна, научный сотрудник, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления им. В.А Трапезникова Российской академии наук (ИПУ РАН), тел. 8(495)3348870, e-mail:lkryukova@ipu.ru.

ALGORITHMIC FEATURES OF RELIABILITY DESIGN OF SPACECRAFT ONBOARD SYSTEMS

E.V. Yurkevich, D.M. Krivopalov, L.N. Kryukova

Federal state budgetary institution of science Institute of problems of management. V. A. Trapeznikova of the Russian Academy of Sciences (IPU RAS), Moscow

Abstract –The aim of the work is to develop an approach that allows ensuring the probability of the spacecraft effective operation in orbit. Today, the solution of such a problem complicates by increasing the requirements for the period of its active existence. The traditional way of building a spacecraft involves the need to confirm the level of reliability of boron systems at each stage of the life cycle. However, the decrease in the service life of functional modules during bench tests usually reduces the active life of the spacecraft, and the results of flight tests are required to assess the reliability.

This paper proposes some mechanisms to reduce the cost of resources for the creation of on-Board systems with increasing requirements for the duration of the active existence of the spacecraft. The described approach to ensuring fault tolerance of onboard systems non-recoverable modules bases on the computer implementation of dynamic programming methods. The sequential solution of one-step optimization problems identified ways to improve the efficiency of each module development.

The proposed algorithm takes into account the relationship between the characteristics of the elements of different subsystems, and the methodology of system analysis allows solving inverse reliability problems using solutions for direct problems. The compatibility and interconnection of the calculation results for each module for each of the criteria largely ensures the effectiveness of the technical condition identification in the onboard systems using multi-criteria estimates.

The methodology of virtual simulation of boron systems tests based on the use of solutions to previous problems proposes a tool for assessing the correctness of solutions to stabilize the characteristics of the spacecraft. The risk-controlling methodology implemented on the construction of a multi-agent system of proposed expert observation, in which the model of controlled processes is presented as a dependence of the dynamics of synergetic effects on the interaction of factors influencing the parameters of the onboard systems. Algorithm of this approach allowed realize automation into the process of reliable design, which reduces the cost of creating on-Board systems as a whole, and the justification of the required number of tests can reduce the development time of the corresponding functional modules.

Index terms: reliability design, the period of active existence of the spacecraft, onboard systems, computer implementation of dynamic programming methods, multi-criteria evaluation.

REFERENCES

1. Henley, A. J., Reliability engineering of technical systems and risk assessment [Text] / E. J. Henley, H. Kumamoto. (Under General editorship of Yu. G. Zarenina) - Kiev: Vyscha shkola, -1987. –542 p.

2. Yurkevich, E. V., Features of information support in ensuring the survivability of the spacecraft under electrophysical influences /E. V. Yurkevich, L. N. Kryukova, S. A. Saltykov // Reliability. – 2016. – № 4. p. 30-35.

3. Yurkevich, E. V.,Virtualization engineering process of the spacecraft control in durability to electro-physical effects: monogtaph / E.B. Yurkevich, A.G. Politykin, V.G. Promyslov, I.A. Stepanovskaya, L.N. Kryukova. Moscow: IPU RAS, 2018/ –168 p. –ISBN 987-5-91450-215-4.

Yurkevich Evgeny Vladimirovich – chief researcher, Federal state budgetary institution of science, Institute of problems of management. V. A. Trapeznikova of the Russian Academy of Sciences (IPU RAS), tel: 8(495)3348870, e-mail:yurk@ipu.ru.

Krivopalov Dmitry Mikhailovich, post-graduate student, Federal state budgetary institution of science, Institute of problems of management. V. A Trapeznikova, Russian Academy of Sciences (IPU RAS), tel. 8(495)3348870, e-mail: persival92@rambler.ru.

Kryukova Lidiya Nikolaevna, researcher, Federal state budgetary institution of science, Institute of problems of management. V. A Trapeznikova, Russian Academy of Sciences (IPU RAS), tel. 8(495)3348870, e-mail: lkryukova@ipu.ru.