

СИТУАЦИОННЫЙ ПОДХОД В ПОДДЕРЖКЕ ЖИВУЧЕСТИ БОЛЬШИХ ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Юркевич Е.В., Крюкова Л.Н.

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Москва, Россия

Yurkevitch.evgenij@yandex.ru, Lidkryukova@yandex.ru

Аннотация. На примере обеспечения функциональной надежности бортовой аппаратуры космических аппаратов показаны возможности использования ситуационного подхода в поддержке живучести больших программно-технических систем. Подход позволяет повысить эффективность испытаний и оперативность управления техническим состоянием сложных систем, в том числе бортовой аппаратуры космического аппарата в процессе работы на орбите.

Ключевые слова: большая программно-техническая система, космический аппарат, бортовая аппаратура, ситуационный подход, поддержка живучести, качественные оценки испытаний.

Введение

Одним из главных направлений в оценке живучести больших программно-технических систем традиционно принято считать расчеты надежности их функциональных блоков (ФБ). Методы определения вероятности безотказной работы (ВБР) компонентной базы программно-технических средств хорошо известны. В данной работе ставится задача рассмотрения методологических аспектов поддержки штатного выполнения задач, поставленных перед такой системой в целом, даже если произойдет отказ ее отдельных ФБ.

Используемое понятие «большая система», не предполагает противопоставление «небольшой» системе. Если традиционная характеристика системы строится на рассмотрении значений параметров, определяющих взаимосвязи между ее элементами, то большую систему предлагается определять характеристиками функциональных связей между ее элементами. Рассмотрение большой системы в этом понимании дает возможность анализировать ее живучесть как вероятность достижения цели работы системы с отказами ФБ при внешних и/или внутренних воздействиях.

ФБ понимается как неделимый элемент в случае конкретного рассмотрения системы, в другом случае ФБ сам может рассматриваться как система элементов. Следовательно, будем полагать, что понятие «живучесть» применимо и к системе в целом, и к ее ФБ.

В современных космических аппаратах (КА) разнообразие различных схем построения бортовой аппаратуры (БА) с использованием ФБ со сходным функциональным назначением определило актуальность применения ситуационного подхода для разработки методологических положений выявления несоответствий функциональных характеристик каждого блока требованиям заказчика. Для формирования таких положений предлагается использовать методы ситуационного анализа [1].

Следует отметить, что сроки активного существования (САС) КА, требуемые заказчиком, возросли с 5 до 10–15 лет при постоянном усложнении полетных заданий. В этом случае для поддержки живучести БА предполагается учитывать возрастание неопределенности в оценке результатов расширенного полетного задания при увеличенном сроке воздействия внешних факторов. Следовательно, согласно новым требованиям к САС КА на орбите повышается важность сохранения регулярности контроля за динамикой функциональных характеристик средств обеспечения живучести БА.

Будем полагать, что каждое числовое значение ВБР БА является следствием воздействий внешних факторов. В этом случае техническое состояние (ТС) БА, как характеристику ситуации в системе ФБ, предлагается оценивать на основании анализа реакций на воздействия внешних факторов со стороны конкретного ФБ, и других блоков, связанные с ним функционально.

Таким образом, ставится задача формирования методологических положений поддержки живучести БА как большой системы с помощью использования системного анализа функциональных взаимосвязей между необходимыми условиями ВБР программно-технических ФБ. Для определения условий достаточности в обеспечении живучести БА требуется регламентация полноты выполнения функций системы ФБ, определенных полетным заданием КА.

1. Методологические условия применимости ситуационного подхода к поддержанию живучести БА

Представим динамику живучести системы ФБ в виде зависимости некоторой случайной величины ξ , от времени: $\xi = \xi(t)$. Будем учитывать, что каждая ξ_x может быть задана своей функцией распределения. При этом выполняются условия симметрии (при перестановке параметров, характеризующих работу ФБ $\{x_k, k_1 \dots k_n\} \in X$ вероятность не меняется) и, если некоторые параметры $x_i = \infty$, то для них аргументы x, t могут быть исключены.

С течением времени (t) функция $\xi(t)$ определяется на всем периоде активного существования большой системы. Следовательно, для использования ситуационного подхода к поддержанию живучести БА предполагает для каждого ФБ задание всей совокупности конечномерных распределений $P\{\xi(t_1) \in B_1, \dots, \xi(t_k) \in B_k\}$, $B_k \in R$, где R – множество распределения значений всех параметров X ; B_k – множество распределения значений k -го параметра ($1 \geq k \leq I$), характеризующего работу ФБ БА.

Предлагаемое понимание живучести определило оценку функциональной надежности каждого ФБ с помощью расчета вероятности получения штатного результата его работы в комплексе БА. Таким образом, динамику функциональной надежности ФБ представим как совокупность случайных процессов изменения значений каждого параметра x_i , $i = 1, \dots, I$, характеризующего работу данного ФБ.

Пусть для каждой $\xi_x(t)$ определены множества предельно допустимых значений параметров работы $R^d \in \xi^d(t)$, $t \in T$ ($t \in (0; \infty)$) и $R_\xi = \{\xi_1, \dots, \xi_m\}$ текущих значений того же множества. Тогда живучесть (Y) ФБ будем описывать как разницу между нормативно допустимыми R^d и текущими значениями R_ξ для каждой ξ . При

$$Y_\xi = \xi^d(t_k) - \xi(t_k), \forall t_k \quad (1)$$

В целом живучесть будем оценивать с помощью векторного критерия функциональной надежности работы соответствующего ФБ. Например, нечеткость оценок в идентификации внешних воздействий и многовариантность решений по обеспечению надежности работы БА определили некорректность постановки задач выбора средств управления динамикой ТС ФБ только на основании расчета ВБР этих ФБ [2].

Таким образом, задачу максимизации Y предлагается решать в два этапа: расчет Y при значениях параметров работы X , предлагаемых разработчиками, и разработка стратегий корректировки X , позволяющих минимизировать отличие Y от X . Прогноз живучести БА на первом этапе (прямая задача) предполагает, что заданными характеристиками являются множества переменных X^d и X , а определяемыми – множество величин Y при ограничениях S .

В качестве оценки ТС как реакции на внешнее воздействие будем рассматривать оценку функциональной надежности ФБ при выполнении полетного задания КА. Согласно этому положению живучесть БА будем характеризовать согласно выражению (1), тогда достаточность живучести определится условием:

$$\varepsilon \leq R_\xi; \forall \xi_1, \dots, \xi_m \quad (2)$$

где ε – допустимая вероятность штатного выполнения полетного задания КА, определенная заказчиком;

R_ξ – текущие значения распределения значений параметров X работы ФБ;

ξ – характеристика реакции ТС ФБ на внешние воздействия в период активного существования КА.

По условиям задачи второго этапа (обратной задачи) заданными характеристиками являются Y и X^d , а определяемой – X при тех же ограничениях. В соответствии с выражениями (1) и (2) для ситуационного подхода в выборе стратегии поддержания живучести ФБ требуются данные, необходимые для прогноза динамики его реакций на воздействия внешних факторов в течении всего срока активного существования системы.

Для рациональности расходования ресурсов, необходимых для обеспечения структурной надежности системы ФБ, сформулируем принципы обеспечения ее ВБР БА:

1. БА, включающая в себя систему ФБ, должна рассматриваться как цельный объект. При изолированном расчете ВБР каждого из ФБ требуется учитывать воздействия на надежность его работы других ФБ в составе БА;

2. технические условия на работу каждого ФБ не должны противоречить параметрам технического задания на разработку КА в целом;

3. в связи с тем, что архитектура БА строится по иерархическим уровням общности применения операций, выполняемых бортовыми ФБ, общности оценок надежности этих ФБ должны соответствовать уровням архитектуры БА в целом.

Следствием из этих принципов является теорема: Если в полетном задании КА требования к операциям, составляющим работы бортовых ФБ, структурированы по иерархическим уровням, и по результату k -й операции j -го уровня ФБ, описываются параметрами $\{x^{kj}$ при $k_j = 1, \dots, m; j = 1, 2, 3, \dots\}$; если все операции определены и представляются в виде m несовместных событий на более низком ($j+1$ -м) уровне, то вероятность штатного выполнения операций j -го уровня не зависит от характера связей между операциями на $j+1$ уровне и определяется минимальной вероятностью штатного выполнения k -й операции $j+1$ уровня.

Теорема справедлива для зависимых и независимых ФБ в структуре БА предыдущего уровня, при условии их несовместности и вне зависимости от вида резервирования.

Доказательство этой теоремы основывается на принципе двойственности операций сложения и умножения несовместных событий [3].

В практических расчетах прямая задача оценки живучести БА решается по данным карты рабочих режимов, сформированной разработчиками. Если по результатам расчетов оценка живучести системы ФБ меньше значения, определенного заказчиком, то в настоящее время используется экспертное решение обратной задачи: выбор средств обеспечения требуемой живучести.

Применительно к задаче поддержания живучести БА будем рассматривать, что разнообразие воздействия внешних факторов может быть компенсировано только разнообразием реакций данного ФБ на результаты этих воздействий [4]. В случае, когда на рассматриваемый ФБ воздействуют ФБ из состава общей с ним БА, сформулируем условие живучести рассматриваемого ФБ при отсутствии внешних влияний: Если функциональная надежность некоторого ФБ₁ не меньше функциональной надежности ФБ₂, воздействующего на него, то при отсутствии внешних влияний работу системы этих ФБ всегда можно построить так, что ее живучесть будет соответствовать функциональной надежности ФБ₂ без дополнительных коррекций и перекодирования.

Следует отметить, что по мере увеличения количества параметров X , значения которых изменяются от воздействия на них сторонних факторов, способность экспертов делать точные значащие утверждения снижается. В пределе возможен порог, за которым точность и значимость становятся взаимоисключающими характеристиками [5]. В этом случае повышается необходимость использования нейросетей, позволяющих формировать кортеж функций, который определяет алгоритм поддержки живучести БА, то есть получения штатных результатов ее работы.

Практическое подтверждение таких выводов определялось на расчетах живучести системы иерархически упорядоченных множеств ФБ одного назначения. В качестве примеров ФБ многоуровневой БА низкоорбитальных КА были рассмотрены бортовой построитель вертикали, программные средства обеспечения надежности электропитания, системы корректировки орбиты [6].

При расчете живучести БА учитывалось, что один и тот же ФБ может несколько раз привлекаться для выполнения одной операции, а также что не все ФБ могут участвовать в выполнении всех операций. В процессе эксплуатации надежность отдельных ФБ может изменяться даже без подключения их к действующим информационным каналам. Поэтому в качестве стратегических предпосылок анализа ситуации с ТС БА выделялись структурная и функциональная составляющие ее надежности. В оценке структурной надежности БА рассчитывалась ВБР ее элементов и физической реализации их взаимосвязей. В оценке функциональной надежности рассчитывалась вероятность штатного выполнения технологических операций каждым ФБ и результатов их функционального взаимодействия.

2. Механизм ситуационного подхода в построении оценок живучести БА

В качестве информационной базы оценок ТС ФБ при воздействиях факторов ($Z = (z_1, z_2, \dots, z_m)$), внешних относительно характеристик работы отдельного блока, предложим модель ситуации в виде:

$$\langle S, k_1, \dots, k_m, R \rangle, \quad (3)$$

где S – множество стратегий обеспечения живучести ФБ, характеризуемых параметрами его реакций на воздействия внешних факторов, полученных по результатам телеметрии в текущий момент времени;

k_1, \dots, k_m – оценки ТС блока, определяемые вероятностью отсутствия отклонений в выполнении его функций от нормативных значений величин, определенных полетным заданием;

R – отношение нестрогого предпочтения.

В модели (3) ценность каждого варианта s_i из множества S всех (возможных) вариантов характеризуется значениями оценок k_i . Без ограничения общности будем полагать, что все оценки выражены в численном виде, и большие значения предпочтительней меньших. Таким образом, каждый вариант s_i будем характеризовать значениями $k_i(s)$, формирующими вектор оценок этого варианта $K(s) = (k_1(s), \dots, k_i(s), \dots, k_m(s))$.

В модели (3) варианты стратегий будем характеризовать по предпочтительности посредством сопоставления их векторных оценок $\{k_i(s), i = 1, \dots, m\}$. Будем полагать, что оценки являются однородными, значит они имеют одинаковую (общую) шкалу и можно оценки k_j заменить на $\lambda(k_j)$, где λ – некоторое допустимое преобразование, определяемое типом шкалы. Кроме того, множество x_0 конечно: $x_0 = \{1, \dots, q\}$. Элементы такого множества будем называть шкальными градациями.

Для анализа динамики ТС ФБ предлагается вводить отношения предпочтения R на X , то есть при xRy вектор оценок x не менее предпочтителен, чем y . В этом случае отношение R порождает отношения безразличия I и предпочтения P : xIy , т.е. справедливы выражения xRy и yRx ; при этом xPy выполнено, когда верно xRy , и неверно yRx . Таким образом, для общности построений будем использовать отношение предпочтений, однако при оценке ТС предлагается использовать не «веса» оценок внешних влияний, а важности их числовых значений [7]. При строгом рассмотрении предполагается, что понятия «веса» и важности оценки несколько различны, но для практических выводов в данном случае это несущественно.

В качестве практического замечания следует отметить, что значения важности являются целыми числами от 1 до l . В результате анализ отношения небольших целых чисел позволяет эксперту проще оценивать важности значений оценок.

В данном рассмотрении функция ценности задается в аддитивном виде, сопоставляя каждой шкальной градацией k ее ценность $v(k)$. Обозначим через d_k и u_k минимально и, соответственно, максимально допустимые значения отношений разности ценности шкальных градаций. Выражение (4) показывает степень «затухания» предпочтений эксперта.

$$d_k \leq \frac{v(k+1)-v(k)}{v(k+2)-v(k+1)} \leq u_k, k = 1, \dots, q - 2. \quad (4)$$

Предполагается, что для принимаемые экспертно для конкретного рассмотрения d_k и u_k постоянны для всех градаций. Особенностью применения модели (3) в анализе результатов внешних воздействий является отсутствие однозначных числовых характеристик вектора $Z = (z_1, z_2, \dots, z_m)$. В этом случае задача учета внешних влияний на оценки ТС должна решаться в категориях нечетких логик (нечетких множеств).

В данном подходе в качестве нечеткого принято 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 этой функции заключается в том, что она характеризует субъективное представление эксперта о характере изменений ТС блока при внешних воздействиях. При этом предполагается, что у другого эксперта вид функции $\mu_A(u_i)$ может быть другой.

Для качественного описания подобных количественных понятий предлагается вводить лингвистические переменные. Лингвистической будем называть переменную, заданную на качественной шкале и принимающую значения слов и словосочетаний естественного языка. Например, характеристику ТС ФБ, определяемую зависимостью степени принадлежности $\mu_A(u_i)$ от устойчивости ТС ФБ (% сбоев в работе) можно представить в виде градаций «низкая», «немного ниже нормы», «практически в норме», «выше нормы», «высокая».

Преимущество подхода нечеткой логики перед классическим подходом при ситуационном подходе к оценке ТС ФБ заключается в том, что при нечетком подходе аналитическое описание внешних воздействий может не делаться. Во многих случаях достаточно только описания того, как на такие воздействия ФБ реагирует, в то время как при классическом подходе необходимы формализация и внешних воздействий, и реакций ФБ на эти воздействия.

В связи с тем, что отклонения текущих значений параметров множества X являются следствием внешних воздействий, рассматриваемую ситуацию будем описывать соотношением значений

параметров X (допустимые значения характеристик ФБ) и Y (значения характеристик ФБ, полученные в результате на воздействия внешних факторов).

3. Методология анализа игровой ситуации при выборе стратегии, необходимой для поддержки живучести БА

Специфика ситуационного подхода предполагает формирование механизма выбора стратегии из множества S на основании анализа ситуации, сложившейся в результате воздействия на БА факторов различной природы.

Комплексность рассмотрения ситуации определила необходимость учета существенности взаимного влияния факторов на параметры работы ФБ, входящих в БА. Расчет таких влияний проводится в соответствии с алгоритмами, предложенными в [2].

С другой стороны, внешние факторы во многом влияют на решение задач стабилизации ТС БА. В связи с разнообразием природы внешних факторов их совокупность будем называть характеристикой «космической погоды». В нашем случае космическую погоду будем рассматривать как комплекс явлений в околоземном космическом пространстве и на Земле, связанных с процессами на Солнце и в межпланетном пространстве [8].

Будем полагать, что, воздействуя на ТС БА космическая погода выступает в роли генератора случайных чисел без заинтересованности в исходе такого воздействия. В то же время, для обеспечения живучести ФБ при формировании ситуации, определяемой характеристиками результатов воздействия факторов космической погоды, превышающими предел условий штатной работы БА, требуется введение специального управления.

Критерий реализации такого управления предлагается формировать с помощью рассмотрения игровой ситуации с доходами. Для этого будем выделять воздействия факторов с учетом важности влияния каждого из них на достижение целей полета КА. В таком случае искомую стратегию будем определять в соответствии с построением модели специального управления в виде цепи Маркова с доходами. В качестве доходов рассмотрим коэффициенты, определяющие компенсацию влияния космической погоды на ТС БА ($S_j = \{s_1, s_2, \dots, s_r\}$, при $j = 1, \dots, r$), где s_j – коэффициент важности влияния i -го фактора для каждого из воздействий.

Таким образом, с помощью цепи Маркова введем обоснование выбора стратегии, определяющей формирование устойчивости ФБ к воздействиям факторов космической погоды. В этом случае переходную функцию $P\{\tau, x, t, y\}$ можно задать с помощью матрицы переходов от события к событию.

Рассмотрим период от времени первого события (t_1) до некоторого текущего времени (τ), то есть период ($t_1 - \tau$). Вероятность перехода цепи Маркова за k шагов обозначим $P_{ij}(k)$. В рассматриваемой цепи событий введем промежуточную точку l : $1 < l < k$. Тогда по формуле полной вероятности:

$$P_{ij}(k) = \sum_{r=1}^n P_{ir}(l)P_{rj}(k-1),$$

если обозначить $P(k) = \|P_{ij}(k)\|$, то $P(k) = P(l)P(k-l)$ при $k = 2, l = 1, P(2) = P(1), P(1) = P(1)^2$.

При произвольном значении k $P(k) = P(1)^k = P^k$ из соотношения $P(k) = P(1)P(k-1)$ при $k \rightarrow \infty$ $P = P(1)P$.

Пусть $\Pi_i(k)$ – вероятность пребывания цепи Маркова в состоянии i в момент времени k . Тогда по формуле полной вероятности:

$$\Pi_j(k+1) = \sum_i^n \Pi_i(k)P_{ij} = \sum_i^n \Pi_i(0)P_{ij}(k).$$

Теперь в модель Марковских процессов с доходами (МПД) введем матрицу интенсивностей переходов ($\Lambda = \|\lambda_{ij}\|$) и матрицу доходов ($W = \|w_{ij}\|$), где элементы w_{ij} – доход (единовременный) при переходе ФБ из состояния s_i в состояние s_j ($i \neq j$).

Элементы w_{ii} предлагается рассматривать как доход (в единицу времени) от пребывания ФБ в состоянии s_i , $w_{ii} = 0$, если s_i – поглощающее $M_i(t)$ – полный ожидаемый доход за время t , при условии, что начальным было состояние s_i , т.е. $s(0) = s_i$.

Таким образом, модель Марковского процесса с доходами можно записать:

$$M_i(t + \Delta t) = w_{ii}\Delta t + w_{ii}\lambda_{ii}\Delta t^2 + M_i(t) + \lambda_{ii}M_i(t)\Delta t + \sum_{j=1, j \neq i}^n w_{ij}\lambda_{ii}\Delta t + \sum_{j=1, i \neq j}^n \lambda_{ij}M_j(t)\Delta t + 0(\Delta t),$$

$$\frac{M_i(t+\Delta t) - M_i(t)}{\Delta t} = w_{ii} + \sum_{j=1, j \neq i}^n \lambda_{ij}w_{ij} + \sum_{j=1, i \neq j}^n \lambda_{ij}M_j(t) + w_{ii}\lambda_{ii}\Delta t \text{ при } i = 1, \dots, n.$$

При $\Delta t \rightarrow \infty \frac{dM_i(t)}{\Delta t} = \sum_{j=1, j \neq i}^n \lambda_{ij} M_j(t) + w_{ij} + \sum_{j=1, j \neq i}^n \lambda_{ij} w_{ij}$, $M_i(0) = 0$.

Общее выражение для надежностных показателей:

$$E = M\{\Phi(x(t))\},$$

где $M\{\cdot\}$ – символ математического ожидания;

$x(t)$ – процесс переходов системы в пространстве состояний;

$\Phi\{\cdot\}$ – функционал интегрального типа, заданный на траекториях процесса и определяющий вид показателя надежности или эффективности.

С учетом интегрального представления функционала $\Phi\{\cdot\}$ надежностные показатели рассчитываются через интеграл Стильтьеса в виде:

$$M_i(t + \Delta t) = (1 - \sum_{j=1, j \neq i}^n \lambda_{ij} \Delta t)[w_{ij} \Delta t + M_i(t)] + \sum_{j=1, j \neq i}^n \lambda_{ij} \Delta t[w_{ij} + M_j(t)] + 0(\Delta t),$$

$$E = M\left\{\int_0^T d\Phi(x(t))\right\}.$$

Дифференциал интегрирующей функции $d\Phi(x(t))$ интерпретируется как доход [9]

$$d\Phi(x(t)) = \begin{cases} w_{ii}, & \text{если в момент времени } t \text{ состояние процесса } x(t) = x(i) \\ & \text{(т. е. система находится в } i \text{ – ом состоянии);} \\ w_{ij}, & \text{если } t \text{ – момент перехода из } i \text{ – го состояния} \\ & \text{в } j \text{ – е, } (i \neq j). \end{cases}$$

Поиск стратегии МПД завершается при достижении $\Delta \leq \varepsilon$.

Итак, живучесть БА предлагается оценивать векторным критерием полноты функциональной надежности ее работы $(1 - Q(y^1_j, \dots, y^i_j, \dots, y^m_j))$, где $y^i_j = x^i_j - x^{di}_j$ для каждого параметра $i = 1, \dots, m$, при каждом j -м воздействии на одном из уровней операций. Для каждой ситуации предлагается выделять воздействия факторов с учетом важности влияния каждого из них на достижение целей полета КА. Где коэффициенты важности, обозначим $S_j = \{s_{1j}, s_{2j}, \dots, s_{rj}\}$, при $j = 1, \dots, r$. S_j – индекс фактора для каждого из воздействий. Коэффициент важности должен учитывать существенность взаимного влияния факторов, и каждого из них на параметры работы ФБ, входящих в БА.

Оценивать соотношение различных групп $S_j = \{s_{1j}, s_{2j}, \dots, s_{rj}\}$, при $j = 1, \dots, r$ предлагается экспертно с помощью анкеты, которая включает в себя оценку по 11-балльной шкале, в том числе один открытый вопрос с просьбой обосновать поставленную оценку.

При ответе на вопрос о вероятности рекомендации специалистам предлагается оценивать эту вероятность по шкале от 0 до 10. Респонденты, поставившие 9 или 10 баллов, считаются союзниками (промоутерами); 7 или 8 баллов – пассивными (нейтралами); от 0 до 6 баллов – неудовлетворенными (противниками). Ноль баллов выставляют те, кто абсолютно не готов оценивать влияние данного фактора. Индекс влияния промоутера (P) рассчитывается как разность долей союзников и противников среди общего числа опрошенных специалистов.

По данным, полученным после обработки анкет, необходимо провести расчет интегральных показателей, который производится по формуле:

$$P = C - П,$$

где P – индекс влияния промоутера;

C – союзники (в % от общего количества респондентов);

$П$ – противники (в % от общего количества респондентов).

Чем выше доля союзников, тем выше P , тем больше информативных данных получают разработчики и тем больше специалистов делают выбор в пользу учета данного фактора.

Обеспечение адекватности расчетов с помощью предлагаемого подхода предполагает необходимость учета факторов, оказывающих влияние на экспертные оценки. Например, рассматриваемый ситуационный подход учитывает наличие стимулов формирования более высоких оценок у разработчиков, производителей и пользователей создаваемых технических средств. Поправочные коэффициенты, предлагаемые в [10] для использования подхода, близкому к предлагаемому, показаны в таблицах 1,2,3.

Таблица 1. Условия, влияющие на организацию разработки, производство и/или эксплуатацию КА

Условия, влияющие на ошибки	Поправочный коэффициент
Незнакомый, важный, редкий заказ ЦУПа	х.17
Нехватка времени для определения/исправления ошибки в технологическом процессе	х.11
Легко отменить функциональную операцию	х.9
Нет доступных средств передачи информации	х.8
Нет доступных средств защиты от непреднамеренных действий	х.8

Таблица 2. Условия, влияющие на технологии

Условия, влияющие на ошибки	Поправочный коэффициент
Необходимость организации использования нового стандарта	х.6
Необходимость использовать системные связи	х.5,5
Неясность в требованиях к результатам технологических процессов	х.5
Несоответствие между ожидаемым и реальным риском использования нового стандарта	х.4
Слабая/ неясная обратная связь системы	х.4

Таблица 3. Условия, влияющие на характеристики эксперта

Условия, влияющие на ошибки	Поправочный коэффициент
Неподготовленный эксперт	х.3
Отсутствие независимой проверки	х.3
Несоответствие уровня подготовки разработчика (оператора) сложности технологического процесса	х.2

В целом, предлагаемую схему оценки живучести БА представим в виде этапов:

- формируется модель ситуации оценки влияния на ТС факторов ($Z = (z_1, z_2, \dots, z_m)$), внешних относительно характеристик работы отдельного блока реакций ФБ на воздействия, и S_j , множество коэффициентов важности, назначаемых экспертно для каждого j -го воздействия;
- при проектировании и наземной отработке БА решается прямая задача оценки живучести при заданной динамике требований к техническим характеристикам ФБ X , определенных в технических условиях;
- формируется прогноз ТС БА с оценкой ее живучести;
- если прогноз ТС БА не соответствует требованиям полетного задания, ставится обратная задача расчета живучести для данной БА. В соответствии с выражением (2), требуется формирование рекомендаций по конструктивным доработкам ФБ.

Будем полагать, что живучесть БА при выполнении полетного задания обеспечивается запасом функциональной надежности каждого из бортовых ФБ. В целом, можно заключить, что одновременное выполнение операций j -го уровня не приводит к уменьшению количества составных процессов в операциях $j+1$ -го уровня. В противном случае это приведет к нарушению процесса выполнения полетного задания. Более того, для введения параллельных действий нужны дополнительные (служебные) операции. Из этих утверждений следует, что на каждом из j -х уровней вероятность штатного выполнения параллельных процессов не может быть выше живучести ФБ при штатном выполнении полетного задания.

4. Заключение

Предложенный в работе ситуационный подход к живучести больших программно-технических систем позволяет построить упрощенную математическую модель работы БА для определения требований к техническим характеристикам системы ее ФБ.

В соответствии с данным подходом предложена процедура принятия решений по управлению техническим состоянием процесса функционирования бортовых систем КА, которая позволяет:

- снизить количество наземных испытаний и в целом стоимость проведения этих испытаний;
- повысить достоверность управляющих воздействий при сохранении требуемых показателей БА в условиях воздействий внешней среды на этапах наземных и летных испытаний, вызванных случайными факторами;
- повысить оперативность принятия решения по обеспечению живучести БА с помощью методов оптимального управления.

Отличительная особенность ситуационных систем управления состоит в том, что они не могут оптимизировать сам процесс управления. Такие системы ориентированы лишь на то, что достигнутые результаты будут не хуже лучших результатов, которые мог бы получить оператор. Практика показывает, что при правильном подходе к разработке ситуационных систем управления результаты расчетов, получаемые системой, во многих случаях оказываются точнее экспертных решений. В существенной степени это зависит от того, насколько тщательно и глубоко проработан этап, связанный с построением стратегий управления. Предложенный подход создает предпосылки для введения цифровых технологий (технологизации) этого этапа и перехода к качественно новому уровню ситуационного управления.

Литература

1. *Роланд Бергер, Нильс Бикхофф* Стратегический менеджмент по Котлеру. Лучшие приемы и методы. – М.: Альпина Паблишер, 2012. – 144 с.
2. *Юркевич Е.В., Кривопапов Д.М., Крюкова Л.Н.* Алгоритмические особенности надежностного проектирования бортовых систем космических аппаратов // Вестник Южно-Сибирского государственного университета. 2019. N 2. – С. 18–27.
3. *Шубинский И.Б.* Функциональная надежность информационных систем. Методы анализа. – М.: ООО «Журнал «Надежность», 2012. – 295 с.
4. *Эшби У.Р.* Введение в кибернетику. – М.: Иностранная литература, 1959. – 432 с.
5. *Сидельников Ю.В., Минаев Э.С.* Технология экспертного сценарного прогнозирования. – М.: Изд-во МАИ, 2017. – 232 с.
6. *Кривопапов Д.М., Юркевич Е.В.* Механизм построения аналитического решения при вычислении вероятности безотказной работы системы с ненагруженным резервированием при неоднотипных элементах // Надежность. 2017. N 17(4). – С.16–22.
7. *Юркевич Е.В., Крюкова Л.Н., Салтыков С.А.* Особенности информационной поддержки в обеспечении живучести космического аппарата при электрофизических воздействиях // Надежность. 2016. N 4. – С. 30–35.
8. Физика космоса. Маленькая энциклопедия / Под ред. Р.А. Сюняева. – М.: Сов. энциклопедия, 1986. – 783 с.
9. *Викторова В.С., Лубков Н.В., Степаняц А.С.* Анализ надежности отказоустойчивых управляющих вычислительных систем. – М.: ИПУ РАН, 2016. – 120 с.
10. *Асланов М. А., и др.* Системный анализ и принятие решений в деятельности учреждений реального сектора экономики, связи и транспорта / М. А. Асланов, В.В. Кузнецов, Ю.Н. Макаров, А.А. Мальчевский, А.Ю. Шатраков; под ред. В.В. Кузнецова. – М.: ЗАО Издательство «Экономика», 2010. – 406 с.