

## Методы оценки показателя информационной устойчивости автоматизированной системы управления полетами космических аппаратов

© А.Г. Андреев<sup>1</sup>, Г.В. Казаков<sup>1</sup>, В.В. Корянов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБУ «4 ЦНИИ» Минобороны России, Королёв Московской обл., 141091, Россия

<sup>2</sup>МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

*На основе метода анализа иерархий разработан методологический подход к оценке показателя информационной устойчивости автоматизированной системы управления полетами космических аппаратов, позволяющий наиболее просто и точно оценить показатель такого ключевого свойства, как информационная безопасность автоматизированной системы управления полетами космических аппаратов, и показатель интегрального свойства информационной устойчивости этой системы. Суть предлагаемого методологического подхода заключается в поэтапном (по уровням иерархии представления интегрального свойства информационной устойчивости) определении приоритетов основных свойств с использованием метода анализа иерархий.*

**Ключевые слова:** гипотеза, контроль, космический аппарат, надежность, подготовка данных, программное обеспечение.

**Введение.** Из определения основных свойств, входящих в состав интегрального свойства информационной устойчивости (ИУ) автоматизированной системы управления полетом космических аппаратов (АСУ КА), следует иерархическая зависимость этих свойств. В связи с этим возникает задача выбора метода, использующего суждения экспертов, для оценки степени влияния каждого свойства на общий показатель ИУ АСУ КА.

Эту задачу можно решить с использованием метода анализа иерархий, предложенного Т.Л. Саати в работах [1–3]. По сравнению с другими методами, основанными на экспертных оценках, указанный метод наиболее эффективен, поскольку он имеет следующие достоинства.

1. Сложная система представлена в виде иерархии, что позволяет оценить влияние изменений приоритетов нижних уровней на приоритеты верхних уровней и в конечном счете на показатель ИУ АСУ КА.

2. Иерархия предоставляет более подробную информацию о структуре и функциях системы на нижних уровнях и обеспечивает рассмотрение факторов и их целевого назначения на высших уровнях. Ограничения, накладываемые на элементы некоторого уровня, предпочтительнее воспроизводить на следующем, более высоком уровне.

3. Метод использует избыточную информацию, содержащуюся в матрице парных сравнений, при «измерении» важности одного объекта (свойства) относительно другого.

4. Построение естественных систем на основе иерархии, т. е. с использованием модульного принципа и последующей сборкой этих модулей, намного эффективнее, чем построение систем, собранных в целом.

5. Иерархии устойчивы и гибки, т. е. малые изменения в системе вызывают малый эффект, а добавление к хорошо структурированной иерархии новых элементов не разрушает ее.

6. Процедура попарной оценки сравниваемых объектов любой природы требует от эксперта наиболее простого ответа «ДА» или «НЕТ» на один из поставленных вопросов: «Объект  $A$  равносителен (или: незначительно важнее, значительно важнее, явно важнее, абсолютно важнее), чем объект  $B$ ?», что позволяет с достаточно высокой степенью точности оценить приоритеты сравниваемых объектов  $A$  и  $B$ .

7. Оценки параметров, получаемые в виде вектора приоритетов (собственного вектора матрицы парных сравнений), обладают высокой точностью и являются, как показано в работе [4], устойчивыми.

8. Метод не требует оценки рейтингов экспертов, что само по себе является субъективной процедурой.

9. Метод позволяет получить формальным путем простую и понятную оценку степени согласованности суждений экспертов (с требуемой точностью), а также формальную процедуру обеспечения согласованности суждений экспертов в случае, когда матрицы парных сравнений хорошо согласованы, но приоритеты сравниваемых объектов у разных экспертов различны.

10. Для измерений используют шкалу отношений (1–9). Поскольку измерения проводит человек, при выборе этой шкалы учитывался психофизический закон Вебера — Фехнера, определяющий возможности человека различать объекты с едва заметными различиями. В работе [3] были исследованы 27 разных шкал, использованных при решении задач с заранее известным правильным результатом. Анализ полученных данных подтвердил теоретический вывод о том, что шкала (1–9) является наилучшей среди всех возможных шкал.

Таким образом, перечисленные выше преимущества метода анализа иерархий в методологическом плане делают этот метод наиболее приемлемым для решения задачи оценки показателя ИУ АСУ КА.

**Методологический подход к оценке показателя информационной устойчивости АСУ КА.** Предлагаемый подход к оценке показателя ИУ АСУ КА заключается в поэтапном (по уровням иерархии представления интегрального свойства ИУ) определении приоритетов основных свойств с использованием матриц парных сравнений.

Показатели свойств нижнего иерархического уровня просты и понятны, поэтому экспертам не представляет сложности оценить их значения.

Согласно предлагаемому методологическому подходу, на первом этапе составляют выражение зависимости показателя ИУ АСУ КА от свойств второго уровня декомпозиции — показателей оперативно-технического уровня (ОТУ), восстанавливаемости информации АСУ КА (ВИ) и информационной безопасности АСУ КА (ИБ). Тогда показатель ИУ АСУ КА определяется выражением вида

$$\text{ИУ} = a_1\text{ОТУ} + a_2\text{ВИ} + a_3\text{ИБ},$$

где  $a_i$  — приоритеты составляющих свойств второго уровня иерархической декомпозиции интегрального свойства ИУ АСУ КА.

На втором этапе составляют выражения для вычисления оценок показателей ОТУ, ВИ и ИБ.

На третьем этапе определяют приоритеты элементов последовательно всех уровней иерархии путем составления матриц парных сравнений элементов последующего уровня относительно каждого элемента смежного верхнего уровня иерархии.

На четвертом этапе вычисляют относительные характеристики конечных свойств самого нижнего уровня иерархии.

На пятом этапе полученные приоритеты и относительные характеристики элементов последнего, нижнего уровня иерархии подставляют последовательно в выражения, определенные на четвертом, третьем, втором и первом этапах, что позволяет получить окончательный результат в виде оценки показателя ИУ АСУ КА.

**Метод оценки показателя оперативно-технического уровня АСУ КА.** В соответствии с предлагаемым подходом оценка показателя ОТУ АСУ КА представляется двумя элементами второго уровня — ОУ и СТУ:

$$\text{ОТУ} = b_1\text{ОУ} + b_2\text{СТУ},$$

где  $b_i$  — приоритеты составляющих свойств ОТУ; ОУ — показатель оперативного уровня АСУ КА; СТУ — показатель системотехнического уровня АСУ КА.

Второй уровень иерархии содержит только два элемента, поэтому нет необходимости формировать матрицу парных сравнений и приоритеты этих элементов определяются сразу (например, 0,6 и 0,4, поскольку СТУ зависит от свойств ОУ).

Каждый элемент показателя ОТУ АСУ КА зависит от ряда других, более частных показателей, поэтому он представляется в виде аддитивной свертки этих составляющих. Для показателя оперативного уровня имеем

$$\text{ОУ} = c_1\text{О}_{п.д} + c_2\text{Г}_{п.д} + c_3\text{D}_д + c_4\text{R}_д,$$

где  $c_j$  — приоритеты свойств, входящих в состав ОУ;  $O_{п.д}$ ,  $\Gamma_{п.д}$  — показатели оперативности и гибкости процесса подготовки данных соответственно;  $D_d$ ,  $R_d$  — показатели достоверности и реализуемости подготовленных данных полета КА соответственно.

Для определения приоритетов  $c_j$  формируют матрицу парных сравнений  $M_{OU}$ , которая имеет следующий вид:

Показатель	$O_{п.д}$	$\Gamma_{п.д}$	$D_d$	$R_d$
$O_{п.д}$	1	$W_{12}$	$W_{13}$	$W_{14}$
$\Gamma_{п.д}$	$1/W_{12}$	1	$W_{23}$	$W_{24}$
$D_d$	$1/W_{13}$	$1/W_{23}$	1	$W_{34}$
$R_d$	$1/W_{14}$	$1/W_{24}$	$1/W_{34}$	1

Здесь элементы  $W_{ij}$  ( $i, j = 1, \dots, 4$ ) представляют собой числовые значения попарного сравнения элементов матрицы  $M_{OU}$ . При расчетах приоритетов  $c_j$  используют метод анализа иерархий, который сводится к двум стандартным процедурам: вычисление собственного вектора матрицы парных сравнений и определение оценки степени согласованности этой матрицы.

Для показателя системотехнического уровня имеем

$$СТУ = d_1КТС + d_2КОПО + d_3КСПО + d_4КИО + d_5КОО,$$

где  $d_j$  — приоритеты свойств, входящих в состав СТУ; КТС — показатель качества технических средств; КОПО, КСПО — показатели качества соответственно общесистемного и специального программного обеспечения; КИО, КОО — показатели качества соответственно информационного и организационного обеспечения.

Для определения приоритетов  $d_j$  необходимо составить матрицу парных сравнений  $M_{СТУ}$ , которая имеет следующий вид:

Показатель	КТС	КОПО	КСПО	КИО	КОО
КТС	1	$W_{12}^*$	$W_{13}^*$	$W_{14}^*$	$W_{15}^*$
КОПО	$1/W_{12}^*$	1	$W_{23}^*$	$W_{24}^*$	$W_{25}^*$
КСПО	$1/W_{13}^*$	$1/W_{23}^*$	1	$W_{34}^*$	$W_{35}^*$
КИО	$1/W_{14}^*$	$1/W_{24}^*$	$1/W_{34}^*$	1	$W_{45}^*$
КОО	$1/W_{15}^*$	$1/W_{25}^*$	$1/W_{35}^*$	$1/W_{45}^*$	1

Здесь элементы  $W_{ij}^*$  ( $i, j = 1, \dots, 5$ ) представляют собой числовые значения попарного сравнения элементов матрицы  $M_{СТУ}$ . При расчетах приоритетов  $d_j$  используют указанные ранее стандартные процедуры метода анализа иерархий.

**Метод оценки показателя восстанавливаемости информации АСУ КА.** Показатель восстанавливаемости определяется тремя элементами второго уровня — показателями восстанавливаемости информации базы данных (ВБД), восстанавливаемости данных полета КА, не реализуемых в наземных комплексах (ВДНК), и восстанавливаемости данных полета КА, не реализуемых в бортовой цифровой вычислительной машине (ВДКА):

$$B = g_1 \text{ВБД} + g_2 \text{ВДНК} + g_3 \text{ВДКА},$$

где  $g_k$  — приоритеты составляющих свойства восстанавливаемости второго уровня.

Для определения приоритетов  $g_k$  составляют матрицу  $M_B$ , которая имеет следующий вид:

Показатель	ВБД	ВДНК	ВДКА
ВБД	1	$W_{12}^{**}$	$W_{13}^{**}$
ВДНК	$1/W_{12}^{**}$	1	$W_{23}^{**}$
ВДКА	$1/W_{13}^{**}$	$1/W_{23}^{**}$	1

Здесь элементы  $W_{ij}^{**}$  ( $i, j = 1, \dots, 3$ ) представляют собой числовые значения попарного сравнения элементов матрицы  $M_B$ . При расчетах приоритетов  $g_k$  используют указанные ранее стандартные процедуры метода анализа иерархий.

**Метод оценки показателя информационной безопасности АСУ КА.** Любые методы анализа иерархий основаны на правильном представлении иерархической декомпозиции глобальной цели исследования. В данном случае глобальной целью исследования является определение показателя ИУ АСУ КА. Суть метода заключается в разработке такой иерархии, которая определяла бы атомарные (простейшие) свойства, входящие в состав комплексного свойства ИБ АСУ КА. Если такая иерархия построена, то из опыта эксплуатации АСУ КА можно установить числовые значения показателей простейших свойств ИБ АСУ КА и, используя метод анализа иерархий, получить числовое значение показателя ИБ АСУ КА.

В соответствии с требованиями Руководящего документа [5] АСУ КА относится к первой группе многопользовательских автоматизированных систем, в которых одновременно обрабатывается и (или) хранится информация разных уровней конфиденциальности и не все пользователи имеют право доступа ко всей информации. Первая группа содержит пять классов безопасности: 1Д, 1Г, 1В, 1Б, 1А.

Рассмотрим вариант отнесения АСУ КА к высшему классу безопасности 1А. В соответствии с этим классом безопасности выбраны требо-

вания к подсистемам защиты нижнего уровня иерархии показателя ИБ, изложенные в Руководящем документе [5].

Исходя из формальной структуры свойства ИБ АСУ КА можно записать следующие выражения для вычисления значения его показателя (использованные обозначения соответствуют структуре показателя ИБ АСУ КА в Руководящем документе [5]):

$$\begin{aligned} \text{ИБ} &= a_1(\text{Ц}) + a_2(\text{К}) + a_3(\text{Д}); \\ \text{Ц} &= b_1(\text{И}) + b_2(\text{П}) + b_3(\text{Б}) + b_4(\text{Р}); \\ \text{К} &= c_1(\text{И}) + c_2(\text{П}) + c_3(\text{Б}) + c_4(\text{Р}); \\ \text{Д} &= d_1(\text{И}) + d_2(\text{П}) + d_3(\text{Б}) + d_4(\text{Р}); \\ \text{И} &= n_1(\text{УД}) + n_2(\text{РУ}) + n_3(\text{КР}) + n_4(\text{ОЦ}); \\ \text{П} &= m_1(\text{УД}) + m_2(\text{РУ}) + m_3(\text{КР}) + m_4(\text{ОЦ}); \\ \text{Б} &= p_1(\text{УД}) + p_2(\text{РУ}) + p_3(\text{КР}) + p_4(\text{ОЦ}); \\ \text{Р} &= r_1(\text{УД}) + r_2(\text{РУ}) + r_3(\text{КР}) + r_4(\text{ОЦ}), \end{aligned}$$

где Ц, К, Д — показатели целостности, конфиденциальности и доступности информации соответственно; И, П, Б, Р — показатели искажения, подмены, блокировки и раскрытия информации соответственно;

$\text{УД} = \sum_{l=1}^5 i_l(Y_l)$ ,  $\text{РУ} = \sum_{l=1}^{10} j_l(P_l)$ ,  $\text{КР} = \sum_{l=1}^3 k_l(\text{Ш}_l)$ ,  $\text{ОЦ} = \sum_{l=1}^6 g_l(O_l)$  — показатели подсистем управления доступом, регистрации и учета, криптографической подсистемы и подсистемы обеспечения целостности соответственно ( $Y_l, P_l, \text{Ш}_l, O_l$  — характеристики подсистем управления доступом, регистрации и учета, криптографической подсистемы и подсистемы обеспечения целостности).

**Методы оценки показателей достоверности и реализуемости данных полета КА.** Получение аналитических выражений для оценки показателей достоверности и реализуемости данных полета КА базируется на специальном представлении структуры АСУ КА. Анализу были подвергнуты методы различного структурного представления автоматизированных информационных систем (АИС):

- агрегатного [6, 7];
- стратифицированного [8];
- скелетной сетью Петри [9];
- в виде технологических участков [10].

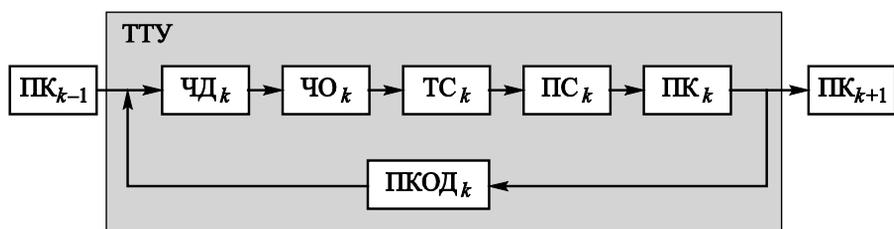
Анализ показал, что наиболее приемлемым формальным представлением АСУ КА для оценки показателей достоверности и реализуемости данных полета КА является *метод технологических участков*.

Для использования этого метода процесс подготовки данных необходимо разбить на элементарные процессы подготовки данных (ЭППД).

*Технологическим участком* (ТУ) называется последовательность использования технологических средств подготовки данных между двумя смежными процедурами синтаксического или семантического контроля данных.

*Элементарным процессом подготовки данных* называется такой процесс преобразования входных данных в семантически однородный массив, размещенный на определенном виде носителя информации, который реализуется последовательным соединением ТУ.

Структура типового технологического участка (ТТУ) представлена на рис. 1.



**Рис. 1.** Структурная схема типового технологического участка

Типовой технологический участок определяется смежными процедурами контроля и включает в свой состав человека-документалиста (ЧД), человека-оператора (ЧО), технические средства считывания (передачи, записи) данных (ТС), программные средства преобразования данных (ПС), процедуру коррекции ошибочных данных (ПКОД), которые были обнаружены выходной процедурой контроля (ПК).

Любой ТУ является частным случаем ТТУ и может не содержать некоторых элементов его структуры.

Метод представления структуры АСУ КА в виде последовательного соединения ТУ в рамках ЭППД применяют как при расчете показателей достоверности  $D_d$  и реализуемости  $R_d$  данных полета КА, так и при расчете показателя оперативности АСУ КА. В первом случае используют такие характеристики элементов ТУ, как вероятности внесения ими определенного числа ошибок в данные полета КА, а во втором случае — время выполнения определенных операций подготовки данных элементами ТУ.

Определив показатели качества каждого ТУ (вероятности искажения данных или время выполнения операций элементами ТУ), можно вычислить аналогичные показатели каждого ЭППД, входящего в состав процесса подготовки данных, а следовательно, и показатели качества АСУ КА в целом.

Качество АСУ КА определяется качеством и организацией ее ЭППД, т. е. видом их соединений (последовательным, последовательно-параллельным или сетевым).

Если АСУ КА представлена в виде определенной структуры ЭППД (т. е. в виде информационно-технологической схемы), то можно получить аналитические выражения для оценки показателей ее качества.

Показатели достоверности и реализуемости данных рассчитывают по одним и тем же алгоритмам.

Исходя из структуры  $k$ -го ТУ  $s$ -го ЭППД (т. е.  $TU_{sk}$ ), вероятность искажения данных, не обнаруженных  $i$ -й процедурой выходного контроля, определится выражением

$$Q_{sk} = 1 - [(1 - Q_{s(k-1)})(1 - Q_{sk}^{ЧД})(1 - Q_{sk}^{ЧО})(1 - Q_{sk}^{ТС})(1 - Q_{sk}^{ПС})] \varphi_k(P_{\beta sk}),$$

$$Q_{s0} = 0, s = 1, 2, \dots, S; k = 1, 2, \dots, K_s,$$

где  $K_s$  — число  $TU_{sk}$ , входящих в состав ЭППД $_s$ ;  $Q_{s(k-1)}$  — вероятность искажения данных на выходе предыдущего,  $(k - 1)$ -го ТУ  $s$ -го ЭППД, т. е.  $TU_{s(k-1)}$ ;  $Q_{sk}^{ЧД}$ ,  $Q_{sk}^{ЧО}$ ,  $Q_{sk}^{ТС}$ ,  $Q_{sk}^{ПС}$  — вероятность искажения данных соответственно человеком-документалистом, человеком-оператором на  $TU_{sk}$ ; техническими средствами, программными средствами  $TU_{sk}$ ;  $\varphi_k(P_{\beta sk})$  — функция от вероятности ошибки второго рода, вычисляемая для каждого вида процедуры контроля информации на  $TU_{sk}$ .

Для синтаксического контроля данных  $Q_{s0} \approx 0$ , поскольку информация базы данных (БД) АСУ КА считается эталонной.

Поскольку в любом ЭППД циркулирует семантически однородная информация, показатель достоверности (реализуемости) данных полета КА на выходе ЭППД определяется показателем достоверности последнего из последовательно соединенных ТУ.

Если входные данные в программном обеспечении АСУ КА прошли семантический контроль с помощью программных средств, а информация БД — многократный визуальный контроль, то последняя считается эталонной с точностью до вероятностей ошибок второго рода семантического и визуального контроля данных, записываемых в БД АСУ КА, т. е. информация БД не является эталонной, а считается таковой.

Поскольку, как следует из определения ЭППД, выходная информация для разных ЭППД представляет собой семантически разнородный массив данных, записанный на определенном носителе информации, то показатель достоверности подготовки данных  $D_d$  определяется минимальным значением вероятности отсутствия ошибок в данных на выходе каждого ЭППД:

$$D_d = \min_s (1 - Q_s),$$

где  $1 - Q_s = P_s$  — вероятность отсутствия ошибок в данных на выходе  $s$ -го ЭППД.

**Метод оценки показателя гибкости АСУ КА.** Гибкость АСУ КА оценивается с учетом условий ее функционирования [11, 12]. В связи с этим необходимо определить вектор приоритетов  $W_{уф} = (W_1, W_2, \dots, W_n)$  каждого из этих условий.

Рассмотрим параметры состояния АСУ КА и метрику для режимов ее функционирования.

Параметрами состояния для режимов функционирования АСУ КА являются  $(N_{КА})_j$  — число КА, для которых на объектах АСУ КА должны быть подготовлены качественные данные полета, и  $(T_{п.д}^{тр})_j$  — требуемое время подготовки этих данных с учетом возможности вывода ее объектов АСУ КА из строя в  $j$ -м режиме функционирования.

Тогда в качестве обобщенного параметра состояния АСУ КА для  $j$ -го режима функционирования целесообразно принять отношение  $G_j$ , определяемое следующим выражением:

$$G_j = (N_{КА})_j / [(T_{п.д}^{тр})_j K_j], \quad (1)$$

где  $K_j$  — коэффициент устойчивости процесса подготовки данных (вероятность решения на объектах АСУ КА необходимых функциональных задач по подготовке данных с учетом выхода из строя некоторой совокупности ее объектов).

Количественную оценку параметра  $G_j^{тр}$  требуемого состояния АСУ КА в каждом режиме функционирования можно получить, исходя из требований, предъявляемых к АСУ КА для различных режимов ее функционирования.

Коэффициент  $G_j$  представляет собой интегральный параметр состояния АСУ КА, определяющий требуемую ее производительность в различных режимах функционирования с учетом выхода из строя части объектов АСУ КА.

Введем коэффициенты  $Y_j$  (компоненты вектора  $\mathbf{Y}$ ), равные отношению оценки показателя  $G_j$  состояния АСУ КА в  $j$ -м условии функционирования к его требуемому значению  $G_j^{тр}$ :

$$Y_j = G_j / G_j^{тр}.$$

Тогда показатель ее гибкости

$$\Gamma = \langle \mathbf{YW} \rangle = \sum_j Y_j W_j,$$

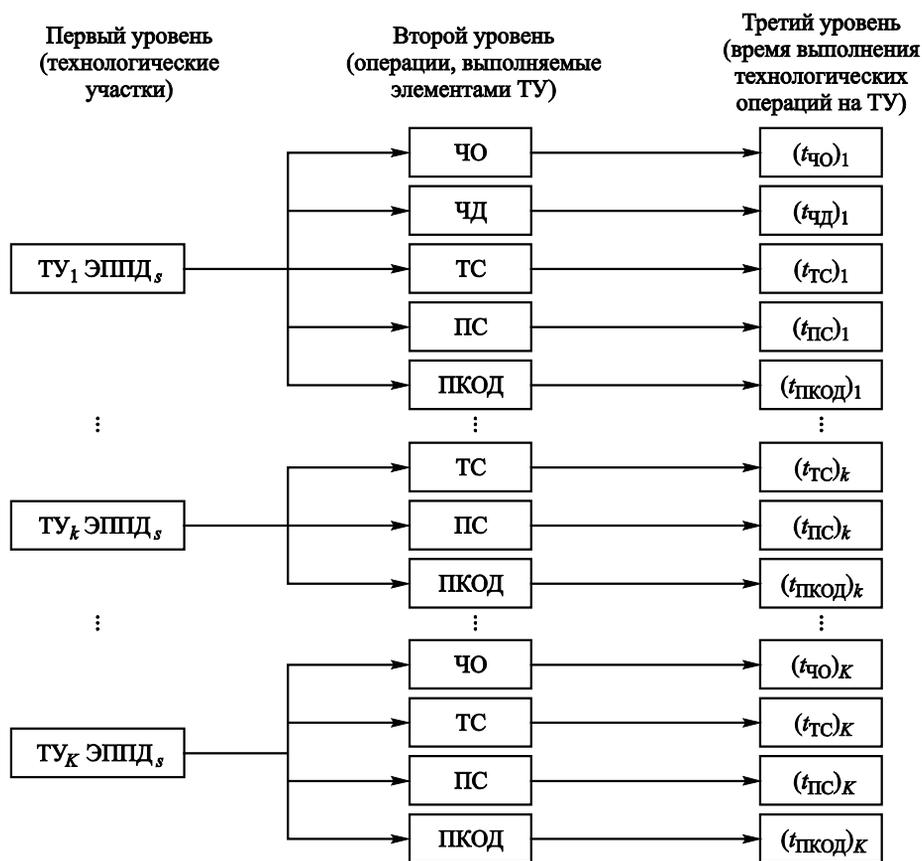
где  $\langle \rangle$  — символ скалярного произведения векторов.

Требуемые значения коэффициентов  $G_j^{тр}$  получаются из выражения (1) при  $K_j = 1$ .

**Метод оценки показателя оперативности АСУ КА.** Показатель оперативности АСУ КА рассчитывают с использованием модели оценки показателя оперативности АСУ КА, которая основана на представлении АСУ КА в виде ЭППД и соответствующих им ТУ.

Под моделью оценки временных характеристик понимается формальная структура, применение которой позволит разработать алгоритмы оценки как временных характеристик отдельных операций, так и общего времени, затрачиваемого на подготовку требуемого объема данных полета КА.

Используя структуры ТУ, модель оценки временных характеристик процесса подготовки данных полета КА можно представить в виде, показанном на рис. 2.



**Рис. 2.** Структура модели оценки временных характеристик процесса подготовки данных полета КА для  $s$ -го ЭППД

Модель имеет три уровня.

Первый уровень содержит наименования  $K_s$  последовательно соединенных ТУ, из которых состоит  $s$ -й ЭППД процесса подготовки данных полета КА от момента получения задания на их подготовку

до момента получения донесения о вводе подготовленных данных в систему управления КА.

Второй уровень модели содержит соответствующие средства реализации технологических операций для каждого ТУ.

Третий уровень содержит время  $t_{ski}$  выполнения каждой  $i$ -й технологической операции соответствующим элементом ТУ ( $i = \text{ЧО, ЧД, ТС, ПС}$ ) для каждого ТУ $_k$ , входящего в состав  $s$ -го ЭППД. Время  $t_{ski}$  определяют либо расчетным путем, либо путем хронометража многократно выполняемых технологических операций. При этом для каждой  $i$ -й операции находят математическое ожидание  $MO_{ski}$  времени выполнения этой операции для  $k$ -го ТУ  $s$ -го ЭППД и среднеквадратические отклонения  $\sigma_{ski}$ . Для получения  $t_{ski}$  могут потребоваться значения производительности технологических средств подготовки данных на каждом ТУ и обрабатываемые объемы данных.

Полученные числовые значения математических ожиданий  $MO_{ski}$  определяют требуемые значения времени выполнения определенного состава технологических операций для каждого этапа подготовки данных.

Рассчитав временные характеристики каждого ТУ (третий уровень модели), можно вычислить аналогичные временные характеристики каждого ЭППД, входящего в состав процесса подготовки данных, а следовательно, и временные характеристики АСУ КА в целом.

Показателем оперативности подготовки данных на  $k$ -м ТУ для  $s$ -го ЭППД является среднее время подготовки данных заданного объема на этом ЭППД ( $T_{sk}$ ).

Показатель оперативности процесса подготовки данных на  $k$ -м ТУ определяется суммой активных, т. е. влияющих на общее время подготовки данных, времен работы каждого из перечисленных структурных элементов ТУ:

$$T_{sk} = \sum_i T_{ski}.$$

Тогда общее время  $T_{п.д}$  процесса подготовки данных определяется выражением вида

$$T_{п.д} = \sum_s \sum_k T_{sk}$$

и является показателем оперативности АСУ КА с использованием ТУ.

**Заключение.** На основе метода анализа иерархий разработан методологический подход к оценке показателя информационной устойчивости АСУ КА, позволяющий наиболее просто и точно оценить показатель такого ключевого свойства, как информационная безопасность АСУ КА, и показатель интегрального свойства информационной устойчивости АСУ КА. При этом на основании исследова-

ний метода анализа иерархий сделан вывод о такого рода его преимуществах по сравнению с другими методами, использующими экспертные оценки, которые позволяют признать его наиболее эффективным с точки зрения точности и устойчивости получаемых результатов в виде исходных данных для алгоритмов оценки показателя информационной устойчивости АСУ КА.

С использованием метода анализа иерархий разработаны общие замкнутые алгоритмы вычисления показателей оперативно-технического уровня АСУ КА, восстанавливаемости информации АСУ КА и ее информационной безопасности.

Проведен анализ возможных способов представления структуры АСУ КА и выбран наиболее простой и информативный способ, позволяющий получить аналитические выражения для расчета показателей достоверности, реализуемости данных полета КА и показателя оперативности АСУ КА. Установлено, что таким способом является представление структуры АСУ КА в виде последовательного соединения технологических участков для каждого элементарного процесса подготовки данных, поскольку этот способ позволил получить простые рекуррентные аналитические выражения для расчета указанных показателей качества данных полета КА и процесса подготовки данных.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Саати Т.Л. *Принятие решений при зависимостях и обратных связях*: Аналитические сети. Москва, Изд-во ЛКИ, 2008, 360 с.
- [2] Саати Т.Л. *Математические модели конфликтных ситуаций*. Москва, Сов. радио, 1977, 304 с.
- [3] Саати Т.Л. *Принятие решений. Метод анализа иерархий*. Москва, Радио и связь, 1993, 278 с.
- [4] Vargas L. *Sensitivity Analysis of Reciprocal Matrices*. Dis. ... Ph.D. The Wharton School, University of Pennsylvania, 1978.
- [5] *Руководящий документ ФСТЭК. Автоматизированные системы. Защита от несанкционированного доступа к информации. Классификация автоматизированных систем и требования по защите информации*. URL: <http://fstec.ru/normotvorcheskaya/poisk-po-dokumentam/114-tekhnicheskaya-zashchita-informatsii/dokumenty/spetsialnye-normativnye-dokumenty/384-rukovodyashchij-dokument-reshenie-predsdatelya-gostekhkommisii-rossii-ot-30-marta-1992-g> (дата обращения 10.05.2016).
- [6] Бусленко Н.П., Калашников Н.Н., Коваленко И.Н. *Лекции по теории сложных систем*. Москва, Сов. радио, 1973, 441 с.
- [7] Волик Б.Г., Буянов Б.Б., Лубков Н.В., Максимов В.И., Степанянц А.С. *Методы анализа и синтеза структур управляющих систем*. Москва, Энергоатомиздат, 1988, 296 с.
- [8] Месарович М., Мако Д., Такахара И. *Теория иерархических многоуровневых систем*. Москва, Мир, 1973, 344 с.

- [9] Кульба В.В., Шевцов А.Р. Методы анализа и синтеза систем обеспечения достоверности информации в АСУ. *Автоматика и телемеханика*, 1994, № 8, с. 154–164.
- [10] Андреев А.Г., Трубачев А.П., Хряпа С.В. Критериальная модель автоматизированной системы подготовки данных управления летательными аппаратами. *Оборонная техника*, 1994, № 10–11, с. 74–78.
- [11] Василенко В.В., Казаков Г.В., Котяшев Н.Н. Оценка функциональной устойчивости группировки межконтинентальных баллистических ракет и обеспечение выполнения поставленных перед ней задач. *Космонавтика и ракетостроение*, 2011, № 1, с. 139–147.
- [12] Белый А.Ф., Климов С.М., Котяшев Н.Н. Модель формирования игровой обстановки для оценки функциональной устойчивости средств автоматизации. *Информационное противодействие угрозам терроризма*, 2011, № 16, с. 105–108.

Статья поступила в редакцию 14.05.2016

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Андреев А.Г., Казаков Г.В., Корянов В.В. Методы оценки показателя информационной устойчивости автоматизированной системы управления полетами космических аппаратов. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2016, вып. 6.  
<http://dx.doi.org/10.18698/2308-6033-2016-06-1505>

*Статья подготовлена по материалам доклада, представленного на XL Академических чтениях по космонавтике, посвященных памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых — пионеров освоения космического пространства, Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 26–29 января 2016 г.*

**Андреев Анатолий Георгиевич** — канд. техн. наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник ФГБУ «4 ЦНИИ» Минобороны России. Автор более 60 работ в области надежности автоматизированных систем управления.  
e-mail: kgv.64@mail.ru

**Казаков Геннадий Викторович** — канд. техн. наук, доцент, начальник управления ФГБУ «4 ЦНИИ» Минобороны России. Автор более 50 работ в области надежности автоматизированных систем управления. e-mail: kgv.64@mail.ru

**Корянов Всеволод Владимирович** — канд. техн. наук, доцент, первый заместитель заведующего кафедрой «Динамика и управление полетом ракет космических аппаратов» МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 40 публикаций.  
e-mail: koryanov@bmstu.ru

## Approach and methods for estimating the informative stability coefficient of aircraft flight automated control system

© A.G. Andreev<sup>1</sup>, G.V. Kazakov<sup>1</sup>, V.V. Koryanov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Federal State Budgetary Institution 4th Central Research Institute of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Korolev, Moscow region, 141091, Russia

<sup>2</sup>Bauman Moscow State Technical University, Moscow, 105005, Russia

*The article demonstrates a technical approach to estimation of the informative stability coefficient of the aircraft flight automated control system basing on the analytic hierarchy process. The developed approach makes it possible to evaluate the coefficient of such significant feature as the informative safety of the aircraft flight automated control system and the coefficient of the informational stability integral property of the aircraft flight automated control system in the most accurate and simplest way. The main idea of the proposed approach includes step-by-step main characteristics priority definition using the analytic hierarchy process. We estimate the coefficients values for the characteristics at the bottom of the hierarchy as far as the last are considered to be the most understandable and simplest. Therefore, that allows experts to easily evaluate their coefficients using the analytic hierarchy process.*

**Keywords:** hypothesis, control, aircraft, reliability, data preparation, software.

### REFERENCES

- [1] Saati T.L. *Prinyatiye resheniy pri zavisimosti i obratnykh szyazyakh: Analiticheskiye seti* [Decision making about relationship and back-coupling: Analytical nets]. Moscow, LKI Publ., 2008, 360 p.
- [2] Saati T.L. *Matematicheskiye modeli konfliktnykh situatsyy* [Mathematical models of conflict situations]. Moscow, Sovetskoye radio, 1977, 304 p.
- [3] Saati T.L. *Prinyatiye resheniy. Metod analiza iyerarkhiy* [Decision making. Analytic hierarchy process]. Moscow, Radio i svyaz, 1993, 278 p.
- [4] Vargas L. *Sensitivity Analysis of Reciprocal Matrices*, Chapter 3 in Ph.D. dissertation. The Wharton School, University of Pennsylvania, 1978.
- [5] *Rukovodyaschiy document FSTEK. Avtomatizirovannyye sistemy. Zashchita ot nesanktsionirovannogo dostupa k informatsii. Klassifikatsiya avtomatizirovannykh sistem i trebovaniya po zashchite informatsii.* Available at: <http://fstec.ru/normotvorcheskaya/poisk-po-dokumentam/114-tekhnicheskaya-zashchita-informatsii/dokumenty/spetsialnye-normativnye-dokumenty/384-rukovodyashchij-dokument-reshenie-predsedatelya-gostekhkommisii-rossii-ot-30-marta-1992-g> (accessed May 10, 2016).
- [6] Buslenko N.P. *Lektsii po teorii slozhnykh sistem* [Lectures of complicated systems theory]. Moscow, Sovetskoye radio, 1973, 438 p.
- [7] Volik B.G. *Metody analiza i sinteza struktur upravlyayuschikh sistem* [Methods of analysis and control systems structures synthesis]. Moscow, Energoatomizdat, 1988, 296 p.
- [8] Mesarovich M, Mako D., Takahara I. *Teoriya iyerarkhicheskikh mnogourovnevnykh sistem* [Theory of hierarchical multilevel systems]. Moscow, Mir Publ., 1973, 344 p.
- [9] Kulba V.V., Shevtsov A.R. *Avtomatika i telemekhanika — Automation and Remote Control*, 1994, no. 8, pp. 154–164.

- [10] Andryev A.G. *Oboronnaya tekhnika — Defence technology*, 1994, no. 10, 11, pp.74–78.
- [11] Vasilenko V.V., Kazakov G.V., Kotyashev N.N. *Kosmonavtika i raketostroyeniye — Cosmonautics and rocket production*, 2011, no. 1, pp. 139–147.
- [12] Belyy A.F., Klimov S.M., Kotyashev N.N. *Informatsionnoye protivodeystviye ugrozam terrorizma — Information counteraction against terrorism threat*, 2011, no. 16, pp. 105–108.

**Andreev A.G.** (b.1941), Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher, Federal State Budgetary Institution 4<sup>th</sup> Central Research Institute of the Ministry of Defense of the Russian Federation. Author of more than 60 publications in the field of reliability of automated control systems. e-mail: kgv.64@mail.ru

**Kazakov G.V.** (b. 1964), Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Professor, head of the Federal State Budgetary Institution 4th Central Research Institute of the Ministry of Defense of the Russian Federation. Author of more than 50 works in the field of automated control system reliability. e-mail: kgv.64@mail.ru

**Koryanov V.V.** (b. 1982) graduated from Bauman Moscow State Technical University in 2006. Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Professor of the Department of Dynamics and Control of Rocket and Spacecraft Flight. Author of more than 20 works in the field of ballistics modelling and dynamics of spacecraft and descent vehicle motion. e-mail: vkoryanov@bmstu.ru