

AUTOMATED CONTROL SYSTEMS

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 621.396

Ю.П. Егоров, А.И. Моисеев, А.И. Пятаков, В.В. Кальников

ОЦЕНКА ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ КОМПЛЕКСОВ СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ВООРУЖЕННЫХ СИЛ В УСЛОВИЯХ ПОТОКОВ ОТКАЗОВ КОМПОНЕНТОВ

***Егоров Юрий Петрович**, доктор технических наук, профессор, окончил радиотехнический факультет Ленинградского высшего морского инженерного училища им. С.О. Макарова. Главный научный сотрудник ФНПЦ АО «НПО «Марс». Специализируется в области макропроектирования больших информационно-управляющих систем. Имеет публикации, монографии, изобретения в области проектирования систем управления. [e-mail: yure@mail.ru].*

***Моисеев Александр Иванович**, кандидат технических наук, окончил трансферный факультет Ульяновского государственного университета. Ведущий инженер ФНПЦ АО «НПО «Марс». Специализируется в области проектирования систем управления специального назначения. Имеет публикации, изобретения и зарегистрированные программные комплексы в сфере исследования и построения распределенных систем управления специального назначения. [e-mail: mars@mv.ru].*

***Пятаков Анатолий Иванович**, кандидат технических наук, окончил Военную академию связи им. С.М. Буденного, адъюнктуру (там же). Главный специалист ФНПЦ АО «НПО «Марс». Специализируется в области проектирования систем управления специального назначения и построения систем передачи дискретных сообщений. Имеет публикации в области надежности комплексов средств автоматизации и передачи данных. [e-mail: uljanovsk-anatol@mail.ru].*

***Кальников Владимир Викторович**, кандидат технических наук, доцент, окончил радиоинженерный факультет Киевского высшего военного инженерного училища связи им. М.И. Калинина. Главный специалист ФНПЦ АО «НПО «Марс». Специализируется в области проектирования систем управления специального назначения, построения систем связи и обмена данными. Имеет статьи, учебные пособия, изобретения в области проектирования распределенных систем управления специального назначения, систем связи и обмена данными. [e-mail: mars@mv.ru].*

Аннотация

Усложнение задач, возлагаемых на комплексы средств автоматизации (КСА) автоматизированных систем управления Вооруженных Сил, ставит перед разработчиками задачу оценки их функциональных возможностей в условиях потока отказов компонентов. Проблематике функционального подхода к надежности КСА и оценке их функциональной готовности к решению задач посвящена данная статья.

Авторами предложена иерархическая функциональная модель КСА, представленная совокупностью общих, частных и локальных функций управления. Обосновывается, что именно функциональный подход отвечает требованиям оперативного состава при оценке готовности КСА к решению функциональных задач.

В статье при формировании критериев отказов определено, что только локальная неделимая функция может находиться в двух состояниях: работоспособном и неработоспособном. Частные и общие функции, являясь полимерными, могут отказывать частично и при этом находиться в частично работоспособном состоянии.

В качестве основного показателя, характеризующего функциональную готовность КСА к решению стоящих перед органами военного управления задач, выбран коэффициент оперативной готовности, определяемый сверткой состояний всех входящих в него локальных, частных и общих функций управления.

Предложен подход к оценке функциональных возможностей КСА в условиях потока отказов компонентов через коэффициент сохранения эффективности.

Ключевые слова: комплекс средств автоматизации, функциональная модель комплекса средств автоматизации, функции управления, функциональная система, отказ функции управления, эффективность управления.

EVALUATING OF FUNCTIONAL CAPABILITIES OF AUTOMATION MEANS COMPLEXES OF AUTOMATION MANAGEMENT SYSTEMS OF THE ARMED FORCES UNDER CONDITIONS OF SUB-SYSTEM FAILURE FLOW

Iurii Petrovich Egorov, Doctor of Science in Engineering, Professor; graduated from the Faculty of Radioengineering of the Admiral Makarov Leningrad Higher Maritime School of Engineering; Chief Staff Scientist at Federal Research-and-Production Center Joint Stock Company 'Research-and-Production Association 'Mars'; specializes in the field of macro-design of large-scale information management systems; an author of articles, monographs, patents in the field of computer-aided control systems design. e-mail: yupe@mail.ru.

Aleksandr Ivanovich Moiseev, Candidate of Science in Engineering; graduated from the Faculty of Dual Degree Programs of Ulyanovsk State University; Leading Engineer at FRPC JSC 'RPA 'Mars'; specializes in the field of the special-purpose management system development; an author of articles, inventions and certificated software complexes in the field of research and building of special-purpose distributed management systems. e-mail: mars@mv.ru.

Anatolii Ivanovich Piatak, Candidate of Science in Engineering; graduated from the Marshal Budjonny Military Academy of Signal Corps; completed his postgraduate studies in the Military Academy of Communications; Chief Specialist at FRPC JSC 'RPA 'Mars'; specializes in the field of organization and creation of discrete messages transmitting systems; an author of articles in the field of the automation complexes reliability and data communication. e-mail: uljanovsk-anatol@mail.ru.

Vladimir Viktorovich Kalnikov, Candidate of Science in Engineering, Associate Professor; graduated from the Faculty of Radioengineering of Kalinin Higher Military Engineering School of Communications (of Kiev); Chief Specialist at FRPC JSC 'RPA 'Mars'; specializes in the field of the special-purpose management system development and organization of communication systems and data exchange systems; an author of articles, textbooks, and inventions in the field of the development of special-purpose distributed management systems, communication and data exchange systems. e-mail: mars@mv.ru.

Abstract

In view of the increasing complexity of the tasks given to the automation means complexes of automated management systems of the Armed Forces, designers focus on the task to evaluate the function capabilities of complexes under conditions of the sub-system failure flow. The article deals with the problems of a functional approach to the reliability of automation means complexes, and the evaluation of its functional readiness to solve the tasks.

Authors offer a hierarchical functional model of the automation means complexes presented with the set of common, special, and local control functions. It is proved that exactly the functional approach meets the requirements of operation composition when evaluating the readiness of the automation means complexes to solve the functional objectives.

When defining failure criteria, authors outline that only local indivisible function can have two states such as operability and inoperability. The common and special functions being multivariate can fail partially and, at the same time, partially operate correctly.

Authors present an operational availability factor chosen as a key characteristic of the functional automation means complex readiness to solve functional tasks given to the military authorities. It is defined by the convolution of all common and special control functions included.

An approach to evaluate the functional capabilities of automation means complexes under conditions of the sub-system failure flow through efficiency preservation factor is proposed.

Key words: automation means complex, a functional model of automation means complex, control functions, functional system, control function failure, control effectiveness.

ВВЕДЕНИЕ

Комплексы средств автоматизации (КСА) автоматизированных систем управления (АСУ) Вооруженных Сил (ВС) предназначены для автоматизации органов военного управления (ОВУ) с целью повышения качества планирования и управления силами, оружием и видами обеспечения ВС.

Для достижения вышеуказанной цели в КСА автоматизируются общие и реализующие их частные функции управления (ФУ), определяющие функциональные возможности КСА. Требования к количеству и качеству автоматизируемых функций определяют ОВУ и, в частности, пользователи (операторы) автоматизированных рабочих мест КСА. Именно в аспекте пользовательских требований целесообразно оценивать возможности КСА.

В условиях потока отказов компонентов КСА пользователь отмечает снижение качества или отказ ФУ, влияющей на эффективность выполнения стоящей задачи. Таким образом, для пользователя проблема находится в слое функциональных возможностей КСА и понятие эффективность отождествляется со степенью соответствия его текущего состояния заложенным в него функциональным возможностям.

Многофункциональный характер КСА определяет необходимость оценки применительно к каждой выполняемой функции. Это связано с тем, что любая функция имеет свою значимость и характеризуется присутствием только ей уровнем требований к качеству выполнения. Потеря одной из функций из-за отказа одной или нескольких технических или программных компонент не приводит к отказу КСА, а переводит его в частично работоспособное состояние, снижающее эффективность его применения по целевому назначению.

В данной работе раскрывается функциональная модель КСА и предлагается методика оценки функциональных возможностей КСА в условиях потока отказов компонентов.

1 ИЕРАРХИЧЕСКАЯ ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ КСА

Для оценки функциональных возможностей КСА АСУ ВС в условиях потоков отказов компонентов рассмотрим его функциональную модель.

Функциональная модель КСА АСУ ВС – модель КСА, представленная в виде множества иерархически распределенных ФУ, описывающих существенное для данного рассмотрения поведение КСА, номенклатуру ФУ, их свойства и связи между ними, позволяющая прогнозировать эффективность КСА в зависимости от состояния его функций.

Функциональная модель КСА АСУ ВС определяется на множестве ФУ предметной области, автоматизируемых АСУ ВС.

ФУ – существенно влияющая на реализацию предназначения и поддержание целостности АСУ деятельности ОВУ по формированию и целесообразному использованию информационного ресурса, характеризующего предметную область АСУ ВС, в том числе состояние управляемых объектов.

Функциональная модель КСА АСУ ВС в виде дерева функций представлена на рисунке 1.

Функциональная компонента определяет функции КСА АСУ ВС и функциональные системы (ФС), через которые ОВУ реализуют соответствующие функции по управлению силами, оружием и видами обеспечения ВС РФ [1].

ФС – совокупность информационных ресурсов и информационных технологий, обеспечивающих реализацию одной или нескольких ФУ.

ФУ КСА АСУ ВС представляются множеством $F^{КСА}$:

$$F^{КСА} = \{F_o, F_{sh}, F_l\},$$

где $F_o = \{O_1, O_2, \dots, O_N\}$ – множество общих ФУ (ОФУ);

$F_{sh} = \{S_1, S_2, \dots, S_K\}$ – множество частных ФУ (ЧФУ);

$F_l = \{L_1, L_2, \dots, L_M\}$ – множество локальных ФУ (ЛФУ);

Общей (О) называется функция, через реализацию которой обеспечивается выполнение ОВУ своего целевого назначения.

Частной (S) называется функция, выполняемая ОВУ в интересах реализации общей функции. Существует иерархия частных функций (первого, второго и третьего уровней, а также локальные).

ЧФУ первого уровня S^1 есть функция, отражающая определенный вид деятельности ОВУ при выполнении одной из ОФУ.

ЧФУ второго S^2 и третьего S^3 уровней – конкретная функция, отражающая определенный вид деятельности ОВУ при выполнении одной из частных функций.

Глубина уровневой вложения ФУ $v = \overline{1, U}$ ограничивается некоторой условно неделимой функцией – локальной. Число уровней ФУ на практике ограничивается двумя – тремя уровнями. ФУ реализуются посредством выполнения ЛФУ $F_l = \{L_1, L_2, \dots, L_M\}$.

Под ЛФУ следует понимать часть ФУ, представляющих собой формализованную совокупность действий по управлению силами, оружием и видами обеспечения ВС РФ, выполнение которой приводит к результату заданного вида. Нижний уровень ФУ реализуется, как правило, одной ЛФУ L_M . Вышестоящий уровень ЧФУ F_U

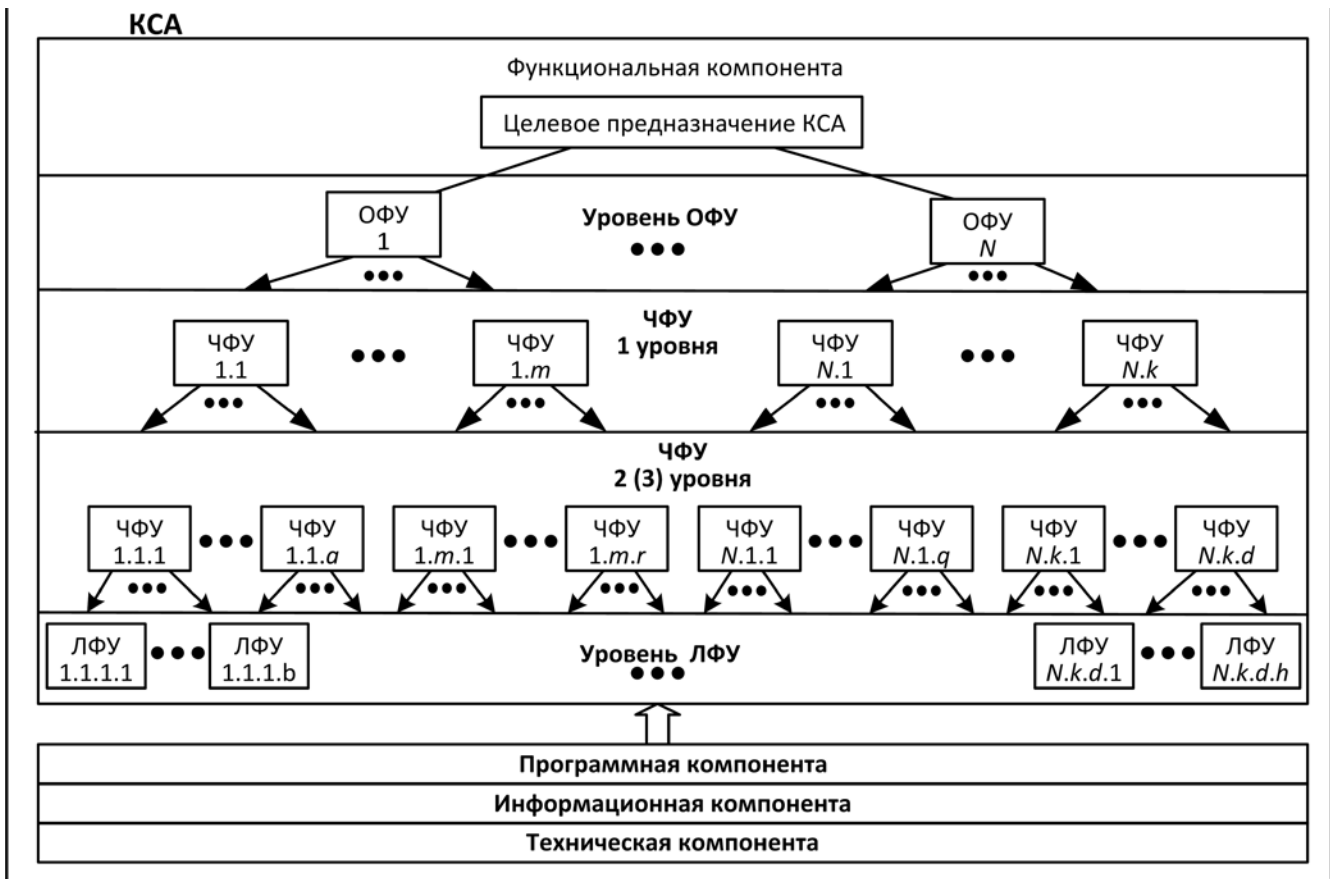


Рис. 1. Функциональная модель КСА

формируется посредством включения в него необходимого набора ЛФУ нижнего уровня. $S^{3(2)} = \cup L_1, L_2, \dots, L_M$.

ОФУ O формируются из дерева функций (рис. 1) посредством разбиения всех функций на подмножества в соответствии с выбранным признаком, причем $O = \cup S_1^1, S_2^1, \dots, S_{K1}^1$, где $S^1 = \cup S_1^2, S_2^2, \dots, S_{K2}^2$, $S^2 = \cup S_1^3, S_2^3, \dots, S_{K3}^3$, $S^3 = \cup L_1, L_2, \dots, L_M$.

Таким образом, ОФУ можно представить как совокупность множеств частных и локальных ФУ:

$$O_i = \cup \left\{ \left\{ S_1^1, S_2^1, \dots, S_{K1}^1 \right\}, \left\{ S_1^2, S_2^2, \dots, S_{K2}^2 \right\}, \left\{ S_1^3, S_2^3, \dots, S_{K3}^3 \right\}, \left\{ L_1, L_2, \dots, L_M \right\} \right\}. \quad (1)$$

Соответственно, функциональная модель КСА может быть определена выражением:

$$F^{KCA} = F_o = f(O_1, O_2, \dots, O_N), \quad (2)$$

где N – количество общих функций предметной области, автоматизируемых АСУ ВС;

F_o – множество общих функций предметной области, автоматизируемых АСУ ВС.

2 КРИТЕРИИ СОСТОЯНИЙ КСА

КСА может находиться в следующих состояниях [2]:

- работоспособен (Z_p);
- частично работоспособен ($Z_{чр}$);

- неработоспособен ($Z_{нр}$).

Состояния Z КСА определяются состоянием ее ОФУ $Z = \{Z_{O1}, Z_{O2}, \dots, Z_{ON}\}$.

КСА находится в состоянии Z_p , если в этом состоянии находятся все ОФУ $F_o = \{O_1, O_2, \dots, O_N\}$.

КСА находится в состоянии $Z_{чр}$, если не выполняется или частично не выполняется хотя бы одна из ОФУ.

КСА находится в состоянии $Z_{нр}$, если эффективность управления (то есть функциональные возможности КСА) снизится ниже требуемого уровня вследствие отказа ОФУ.

$$\mathcal{E}^{KCA} \leq \mathcal{E}^{KCA_{mp}}, \quad (3)$$

где \mathcal{E}^{KCA} и $\mathcal{E}^{KCA_{mp}}$ – достигнутая и требуемая эффективность КСА.

В соответствии с функциональной моделью эффективность КСА полностью зависит от состояния ОФУ, следовательно:

$$\mathcal{E}^{KCA} = f(Z) = f(Z_{O1}, Z_{O2}, \dots, Z_{ON}). \quad (4)$$

Показатель состояния ОФУ Z_{O_i} , где $i = \overline{1, N}$, есть комплексный показатель, зависящий от состояния нижестоящих уровней, то есть состояний частных и локальных ФУ.

Каждая ЛФУ может находиться в двух состояниях: работоспособном и неработоспособном. Отказ ЛФУ приводит к полной потере функционала, реализуемого данной ЛФУ.

ЧФУ могут отказывать частично. Соответственно, они могут находиться в трех состояниях: работоспособном, частично работоспособном и неработоспособном. Состояние частичной работоспособности определяется снижением эффективности до значения, не превышающего требуемого. Состояние неработоспособности (отказа) определяется снижением эффективности ниже требуемого.

ЧФУ третьего уровня S^3 переходит в частично работоспособное состояние при отказе хотя бы одной из ЛФУ.

ЧФУ второго уровня S^2 переходит в частично работоспособное состояние при отказе хотя бы одной из ЧФУ третьего уровня S^3 .

Переход в неработоспособное состояние для ЧФУ третьего (второго) уровней происходит в случае, если качество ЧФУ снизится ниже требуемого уровня.

$$K^{ЧФУ} \leq K^{ЧФУ}_{mp}, \quad (5)$$

где $K^{ЧФУ}$ и $K^{ЧФУ}_{mp}$ – достигнутое и требуемое качество ЧФУ.

3 Модель функциональной надежности КСА

Основным критерием оценки функциональной надежности КСА является его способность выполнять возлагаемые на него функции с требуемой эффективностью. То есть КСА должен сохранять работоспособное состояние в течение всего времени, отводимого на выполнение i -й функции t_{ϕ} . Вследствие стохастической природы протекающих в КСА процессов данный показатель состояния КСА является случайным. Математически оценивается такое состояние коэффициентом оперативной готовности.

Коэффициент оперативной готовности КСА ($K_{oz}^{КСА}$) – это вероятность того, что изделие в момент времени t находится в работоспособном состоянии и, начиная с этого момента, выполнит требуемую функцию при данных условиях в интервале $(t + t_{\phi})$. Коэффициент оперативной готовности при определенных условиях представляет собой произведение коэффициента готовности и вероятности безотказной работы [3–5].

$$K_{oz}^{КСА} = K_z \cdot P(t + t_{\phi}), \quad (6)$$

где $P(t + t_{\phi})$ – вероятность безотказной работы КСА в течение времени, отводимого на выполнение ОФУ;

$$K_z = \frac{T_0}{T_0 + T_g} - \text{коэффициент готовности КСА.} \quad (7)$$

Коэффициент готовности – это вероятность того, что КСА окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени [3–5].

Построение модели функциональной надежности КСА необходимо начинать с уровня ЛФУ.

Математическая модель функциональной надежности уровня ЛФУ строится исходя из понятия его отказа.

В соответствии с рисунком 1 функциональный отказ ЛФУ L_i , где $i = \overline{1, M}$, наступает в следующих случаях:

- отказала техническая компонента (ТК);
- отказала программная компонента (ПК);
- отказала информационная компонента (ИК);
- одновременный отказ в различных сочетаниях ТК, ПК и ИК.

Коэффициент оперативной готовности j -й ЛФУ ($K_{oz}^{ЛФУ_j}$) будет равен:

$$K_{oz}^{ЛФУ_j} = K_z^{ТК} \cdot P_i^{ТК}(t + t_{лфу}) \times \times P_i^{ПК}(t + t_{лфу}) \cdot P_{иск-i}^{ИК}, \quad (8)$$

где $P_i^{ТК}(t + t_{лфу})$ – вероятность безотказной работы ТК в течение времени, отводимого на решение i -й ЛФУ;

$P_i^{ПК}(t + t_{лфу})$ – вероятность безотказной работы ПК в течение времени, отводимого на решение i -й ЛФУ;

$P_{иск-i}^{ИК}$ – вероятность искажения информации в базе данных ИК, используемой i -й ЛФУ.

Отказ ТК обусловлен отказами электрорадиоизделий, входящих в его состав, и рассчитывается вероятностным методом. Используя в качестве исходных данных интенсивность отказов ТК λ_{mk} , можно определить вероятность безотказной работы ТК КСА в интервале времени выполнения локальной функции от t до $t_{лфу}$ [4]:

$$P_i^{ТК}(t + t_{лфу}) = e^{-\lambda_{mk} \cdot t_{лфу}}. \quad (9)$$

Отказ ПК происходит в следующих случаях:

- проявления ошибки, имеющейся в программе, в момент выполнения ЛФУ;
- сбой в аппаратной базе, приводящего к нарушению (останову, закликиванию) вычислительного процесса и, как результат, отказу ЛФУ.

Интенсивность отказов ПК, участвующей в реализации ЛФУ, рассчитывается по формуле [6]:

$$\lambda_{нк} = \lambda_{лфу} \cdot t_{лфу} (\lambda_{ош} + \lambda_{сблфу}). \quad (10)$$

где $\lambda_{лфу}$ – интенсивность выполнения ЛФУ;

$t_{лфу}$ – время выполнения ЛФУ;

$\lambda_{ош}$ – интенсивность нарушений вычислительного процесса из-за ошибок в программных компонентах;

$\lambda_{сблфу}$ – интенсивность сбоев, приводящих к нарушению вычислительного процесса при выполнении ЛФУ.

Вероятность безотказной работы ПК КСА в интервале времени выполнения локальной функции от t до $t_{лфу}$ [4]:

$$P_i^{ПК}(t + t_{лфу}) = e^{-\lambda_{нк}}. \quad (11)$$

Отказ ИК происходит в случае искажения информации в базе данных ИК, в момент записи, хранения или считывания, обусловленного агрессивным электромагнитным полем в месте функционирования КСА.

К агрессивным электромагнитным полям следует отнести естественные (грозовые и электростатические разряды) или искусственные излучения (электромагнитный импульс ядерного взрыва, преднамеренное локальное электромагнитное воздействие, мешающее электромагнитное излучение сильноточных технических средств объекта размещения КСА), не предусмотренные функциональным назначением КСА.

Вероятность искажения информации в базе данных ИК, участвующей в реализации ЛФУ зависит от размерности (n, k) кодовых слов, величины внесенной в них избыточности $r = n - k$ и режима декодирования. В режиме обнаружения ошибки вероятность завершения операции с необнаруженной ошибкой рассчитывается по формуле [7]:

$$P_{иск_i}^{ИК} = \frac{1}{2^{n-k}} \cdot \left(\frac{n}{d}\right)^{1-\alpha} \cdot P_{ош}, \quad (12)$$

где n – длина кодового слова, включая избыточные элементы;

k – количество информационных разрядов кодового слова;

d – минимальное кодовое расстояние корректирующего кода;

α – коэффициент группирования ошибок;

$P_{ош}$ – вероятность искажения одного двоичного элемента кодового слова.

В режиме исправления ошибки вероятность завершения операции с неисправленной ошибкой рассчитывается по формуле [7]:

$$P_{иск_i}^{ИК} = \left(\frac{n}{t}\right)^{1-\alpha} \cdot P_{ош}, \quad (13)$$

где $t = (d - 1/2)$ – кратность исправляемой ошибки.

Математические модели функциональной надежности 1, 2, 3 уровней ЧФУ и ОФУ строятся исходя из иерархии вложенности функций в ОФУ. В большинстве случаев даже полный отказ одной из ЧФУ не приводит к отказу КСА, поэтому математические модели функциональной надежности 1, 2, 3 уровней ЧФУ и ОФУ определяются аддитивной сверткой состояний нижних уровней.

Коэффициент оперативной готовности K -й ЧФУ ($K_{оз}^{ЧФУ_k}$) определяется:

- для ЧФУ 3 уровня сверткой состояний ЛФУ, входящих в $K3$ -ю частную функцию:

$$K_{оз}^{ЧФУ_3} = \frac{\sum_{i=1}^h K_{оз}^{ЛФУ_i} \cdot W^{ЛФУ_i}}{h}, \quad (14)$$

где h – количество ЛФУ, входящих в $K3$ -ю ЧФУ 3 уровня;

$W^{ЛФУ_i}$ – весовой коэффициент значимости i -й ЛФУ;

- для ЧФУ 2 уровня сверткой состояний ЧФУ 3 уровня, входящих в $K2$ -ю частную функцию:

$$K_{оз}^{ЧФУ_2} = \frac{\sum_{i=1}^{k3} K_{оз_i}^{ЧФУ_3} \cdot W_i^{ЧФУ_3}}{k3}, \quad (15)$$

где $k3$ – количество ЧФУ 3 уровня, входящих в $K2$ -ю ЧФУ 2 уровня;

$W_i^{ЧФУ_3}$ – весовой коэффициент значимости i -й ЧФУ 3 уровня;

- для ЧФУ 1 уровня сверткой состояний ЧФУ 2 уровня, входящих в $K1$ -ю частную функцию:

$$K_{оз}^{ЧФУ_1} = \frac{\sum_{i=1}^{k2} K_{оз_i}^{ЧФУ_2} \cdot W_i^{ЧФУ_2}}{k2}, \quad (16)$$

где $k2$ – количество ЧФУ 2 уровня, входящих в $K1$ -ю ЧФУ 1 уровня;

$W_i^{ЧФУ_2}$ – весовой коэффициент значимости i -й ЧФУ 2 уровня;

- для ОФУ сверткой состояний ЧФУ 1 уровня, входящих в N -ю общую функцию:

$$K_{оз}^{ОФУ} = \frac{\sum_{i=1}^{k1} K_{оз_i}^{ЧФУ_1} \cdot W_i^{ЧФУ_1}}{k1}, \quad (17)$$

где $k1$ – количество ЧФУ 1 уровня, входящих в N -ю ОФУ;

$W_i^{ЧФУ_1}$ – весовой коэффициент значимости i -й ЧФУ 1 уровня.

В соответствии с критериями отказ КСА возможен даже при отказе одной из ОФУ. В этой связи, математическая модель функциональной надежности КСА определяется мультипликативной сверткой состояний ОФУ:

$$K_{оз}^{КСА} = \prod_{i=1}^n K_{оз_i}^{ОФУ} \cdot W_i^{ОФУ}, \quad (18)$$

где n – количество ОФУ, входящих в N -ю ОФУ;

$W_i^{ОФУ}$ – весовой коэффициент значимости i -й ОФУ.

4 ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ОЦЕНКЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ КСА АСУ ВС В УСЛОВИЯХ ПОТОКОВ ОТКАЗОВ КОМПОНЕНТОВ

Предложенный подход может быть использован в процессе работы КСА при оценке его функциональных возможностей. Оценивают его функциональные возможности комплексным показателем надежности – коэффициентом сохранения эффективности [8].

В соответствии с ГОСТ 27.002-2015 коэффициент сохранения эффективности есть отношение значения показателя эффективности использования КСА по назначению за определенную продолжительность эксплуатации к номинальному значению этого показателя, вычисленному при условии, что отказы объекта в течение того же периода не возникают.

$$K_{эф} = \frac{\mathcal{E}_d^{KCA}}{\mathcal{E}_{ном}^{KCA}}, \quad (19)$$

где $K_{эф}$ – коэффициент сохранения эффективности КСА;
 $\mathcal{E}_{ном}^{KCA}$ – номинальное значение показателя эффективности КСА;

\mathcal{E}_d^{KCA} – значение показателя эффективности КСА с учетом отказов ТК, ПК и ИК.

В соответствии с функциональной моделью надежности эффективность КСА определяется коэффициентом его оперативной готовности $K_{ог}^{KCA}$ [9]. Подставляя эти значения в (17), получим:

$$K_{эф} = \frac{K_{ог}^{KCA}}{K_{ог_ном}^{KCA}}, \quad (20)$$

где $K_{ог}^{KCA}$ – значение коэффициента оперативной готовности КСА с учетом отказов ТК, ПК и ИК;

$K_{ог_ном}^{KCA}$ – номинальное значение коэффициента оперативной готовности.

Если $K_{эф} \geq K_{эф}^{mp}$, то КСА удовлетворяет предъявляемым к нему требованиям, то есть работоспособен. В противном случае при $K_{эф} < K_{эф}^{mp}$ КСА переходит в состояние «неработоспособен».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данная статья направлена на дальнейшее развитие теории оценки эффективности КСА при отказах как ТК, так и ПК прежде всего в части совершенствования ее научно-методического аппарата. Предложенный подход расширяет границы известных методов оценки эффективности КСА и позволяет свести оценку эффективности КСА к оценке его функциональной готовности с учетом определяемого показателями надежности КСА.

Предлагаемый подход к оценке ожидаемой эффективности КСА основывается на пользовательских требованиях к количеству и качеству автоматизируемых функций и учитывает влияние потока отказов на функциональные возможности комплекса по автоматизации деятельности ОВУ.

Оценка функциональной надежности ЛФУ, ЧФУ и ОФУ позволяет определить допустимый уровень безотказного выполнения возложенных на КСА функций в заданном интервале времени в допустимых условиях обстановки.

Неравнозначность вклада отдельных ЛФУ, ЧФУ и ОФУ в целевое предназначение КСА учитывается в предложенном подходе через весовой коэффициент, определяющий значимость отдельных функций в целевом предназначении КСА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конорев Н.А. Методология разработки программных изделий функциональных подсистем ИАСУ ВМФ на концептуально-инфоологическом этапе проектирования // Автоматизация процессов управления. – 2005. – № 2 (6). – С. 3–8.
2. Егоров Ю.П., Пятаков А.И., Егоров Д.П. Обеспечение надежности интегрированных автоматизированных систем специального назначения на этапах проектирования // Автоматизация процессов управления. – 2017. – № 4 (50). – С. 5–13.
3. ГОСТ 27.301-95. Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения. – М. : Издательство стандартов, 1996. – 15 с.
4. Козлов Б.А., Ушаков И.А. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики. – М. : Советское радио, 1975. – 472 с.
5. Егоров Ю.П., Пятаков А.И., Сулейманова Л.И. Оценка готовности программно-технического комплекса к решению функциональных задач // Автоматизация процессов управления. – 2018. – № 2 (52). – С. 20–27.
6. Пятаков А.И., Шабынина Е.А. Об одном подходе к расчету надежности программно-технического комплекса // Автоматизация процессов управления. – 2009. – № 3 (17). – С. 29–32.
7. Кодирование информации (двоичные коды) / Н.Т. Березюк, А.Г. Андрущенко, С.С. Мощицкий [и др.] ; под ред. Н.Т. Березюк. – Харьков : Вища школа, 1978. – 252 с.
8. ГОСТ 27.002-2015. Надежность в технике. Термины и определения. – М. : Стандартинформ, 2016. – 30 с.
9. Егоров Ю.П., Пятаков А.И. Оптимизация эффективности функционирования комплекса средств автоматизации управления войсками по критерию надежности // Автоматизация процессов управления. – 2018. – № 3 (53). – С. 4–10.

REFERENCES

1. Konorev N.A. Metodologija razrabotki programnykh izdelii funktsionalnykh podsystem IASU VMF na kontseptualno-infologicheskom etape proektirovaniia [Development Methodology of Software Products for the Functional Sub-Systems of Computer-Aided Information Control System of the Navy]. *Avtomatizatsiia protsessov upravleniia* [Automation of Control Processes], 2005, no. 2 (6), pp. 3–8.
2. Egorov Iu.P., Piatakov A.I., Egorov D.P. Obespechenie nadezhnosti integrirovannykh avtomatizirovannykh sistem spetsialnogo naznacheniiia na etapakh proektirovaniia [Reliability Control of Special-Purposes Integrated Computer-Aided Systems at Design Stages]. *Avtomatizatsiia protsessov upravleniia* [Automation of Control Processes], 2017, no. 4 (50), pp. 5–13.

3. GOST 27.301-95. *Nadezhnost v tekhnike. Raschet nadezhnosti. Osnovnye polozheniia* [National Standard. Dependability in Technics. Dependability Prediction. Basic Principles]. Moscow, Izdatelstvo standartov Publ., 1996. 15 p.
4. Kozlov B.A., Ushakov I.A. *Spravochnik po raschetu nadezhnosti apparatury radio-elektroniki i avtomatiki* [Reference Manual on the Calculation of Electronic and Automatic Equipment Reliability]. Moscow, Sovetskoe Radio Publ., 1975. 472 p.
5. Egorov Iu.P., Piatakov A.I., Suleimanova L.I. Otsenka gotovnosti programmno-tekhnicheskogo kompleksa k resheniiu funktsionalnykh zadach [Estimation of Hardware and Software Complex Readiness to Solve the Functional Tasks]. *Avtomatizatsiia protsessov upravleniia* [Automation of Control Process], 2018, no. 2 (52), pp. 20–27.
6. Piatakov A.I., Shabynina E.A. Ob odnom podkhode k raschetu nadezhnosti programmno-tekhnicheskogo kompleksa [On an Approach to Reliability Calculation of Software and Hardware System]. *Avtomatizatsiia protsessov upravleniia* [Automation of Control Process], 2009, no. 3 (17), pp. 29–32.
7. Berezyuk N.T., Andrushchenko A.G., Moshchitskiy S.S. et al. *Kodirovanie informatsii (dvoichnye kody)*. Pod red. N.T. Berezyuk [Information Encoding (Binary Codes), edited by N.T. Berezyuk]. Kharkov, Vishcha shkola Publ., 1978. 252 p.
8. GOST 27.002-2015. *Nadezhnost v tekhnike. Terminy i opredeleniia* [National Standard. Dependability in Technics. Terms and Definitions]. Moscow, Standartinform Publ., 2016. 30 p.
9. Egorov Iu.P., Piatakov A.I. Optimizatsiia effektivnosti funktsionirovaniia kompleksa sredstv avtomatizatsii upravleniia voiskami po kriteriiu nadezhnosti [Optimization of Automated Troop Command and Control System Operation Effectiveness in Terms of Reliability Criterion]. *Avtomatizatsiia protsessov upravleniia* [Automation of Control Processes], 2018, no. 3 (53), pp. 4–10.