

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 621.396

Ю.П. Егоров, А.И. Пятаков, Д.П. Егоров

ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ИНТЕГРИРОВАННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ЭТАПАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ



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].



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 организации и построения систем передачи дискретных сообщений. Имеет публикации в области надежности комплексов средств автоматизации и передачи данных. [e-mail: uljanovsk-anatol@mail.ru].



Егоров Дмитрий Петрович, окончил факультет информационных систем и технологий Ульяновского государственного технического университета, инженер-программист первой категории ФНПЦ АО «НПО «Марс». Специализируется в области создания программных средств и комплексов специального назначения. Имеет свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. [e-mail: yedmit@mail.ru].

Аннотация

Современный этап развития автоматизированных систем как в области управления войсками, так и в народно-хозяйственной сфере характеризуется пространственным размахом, функциональной сложностью, возросшими требованиями к устойчивости функционирования разнородных, многоуровневых систем и комплексов, направленных на решение многоплановых задач повышения эффективности управления автоматизируемой структурой. Решение таких задач на сегодня по силам новому классу автоматизированных систем управления (АСУ) – интегрированным АСУ (ИАСУ).

Одной из основных задач в области создания ИАСУ становится обеспечение ее надежности. Однако имеющаяся нормативно-техническая база, определяющая порядок обеспечения надежности технических систем и комплексов, не учитывает присущих ИАСУ особенностей, вследствие чего возникает актуальная проблема определения подходов и систематизации основных решений по обеспечению надежности интегрированных АСУ и их компонентов.

В статье предложен подход к обеспечению надежности ИАСУ специального назначения. В отличие от традиционных подходов обеспечения надежности авторы предлагают оценивать надежность ИАСУ с точки зрения возможности бесперебойного выполнения возложенных на нее задач. Проводится классификация ИАСУ и входящих в нее систем, контуров и комплексов с точки зрения надежности. Вводится понятие функциональной надежности и предлагается подход к оценке надежности функциональных систем и контуров. Рассматриваются подходы к обеспечению надежности на всех уровнях вложенности архитектуры ИАСУ специального назначения.

Ключевые слова: надежность, интегрированная автоматизированная система управления, функциональная надежность, надежность комплексов средств автоматизации, показатели надежности.

Abstract

The modern stage of development of automated systems in the spheres of either troop control or national economy is characterized by special swing, functional complexity, increased requirements to functional reliability of heterogeneous multilevel system and complexes solving multipurpose tasks of increasing control efficiency of an automated structure. Nowadays, such type of tasks is solved by the new class of automated management systems (AMSs) – integrated AMSs (IAMSs).

Providing IAMS reliability becomes one of the main tasks in the field of creating such systems. However, existing normative-technical base defining the algorithm of providing reliability of technical systems and complexes doesn't take into account IAMS features that leads to the current problem of defining methods and systematization of the main solutions on providing reliability of IAMSs and their components.

The article gives an approach to providing reliability of special-purpose IAMSs. In contrast to traditional approaches to providing reliability, the authors allow to estimate IAMS reliability in terms of ability of uninterrupted performance. IAMS with its subsystems, parts and complexes are classified with relation to its reliability. The term of functional reliability is fixed and the approach to estimation of reliability of functional systems and their parts is proposed. Approaches to providing reliability at all nesting levels of special-purpose IAMS architecture are considered.

Key words: reliability, integrated automated management system, functional reliability, reliability of automation equipment complexes, reliability indices.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие информационно-телекоммуникационных технологий естественным образом привело к появлению нового класса автоматизированных систем управления (АСУ) – интегрированных АСУ (ИАСУ). Системы этого класса активно востребованы как в области управления войсками, так и в народно-хозяйственной сфере (региональные АСУ, системы государственного управления, системы больших корпораций и т. д.).

Интегрированной называется АСУ, объединяющая на принципах единого информационного пространства (ЕИП) некоторое множество специализированных АСУ определенной структуры управления и обеспечивающая повышение эффективности функционирования этой структуры средствами интегрированных информационных технологий. При этом показатели эффективности интегрируемых систем являются подчиненными относительно показателей интегрированной системы.

ИАСУ специального назначения создается с целью повышения эффективности управления определенной предметной областью (видом вооруженных сил, ведом-

ством, регионом, корпорацией и т. д.), включая виды необходимого обеспечения.

Основными задачами проектирования ИАСУ являются:

- обеспечение автоматизированного доведения команд и сигналов управления до управляемых объектов с заданными вероятностно-временными характеристиками в любых условиях обстановки;
- качественное улучшение способности к организации взаимодействия систем, органов управления (ОУ) и управляемых объектов;
- создание защищенного ЕИП предметной области (вооруженных сил, корпорации, региона);
- оптимизация, интеллектуализация и виртуализация пунктов и ОУ;
- оптимизация расходов на поддержание и развитие ИАСУ за счет унификации, стандартизации и компонентного подхода к ее построению.

Эффективность $W(\mathcal{E})$ ИАСУ обеспечивается совокупностью ее свойств (X, Y, R) и критериев F , отражающих количественно эти свойства.

$$W(\mathcal{E}) = \{F_1(X), F_2(Y), F_3(R)\}, \quad (1)$$

где $F_1(X)$, $F_2(Y)$ – множество функционалов, определяющих показатели качества, характеризующие меру соответствующих свойств процессов управления;

$F_3(R)$ – множество функционалов, учитывающих ресурсные ограничения;

X – свойства, определяющие функциональные возможности ИАСУ, в том числе:

- а) X_1 – оперативность;
- б) X_2 – обоснованность;
- в) X_3 – охват;

Y – свойства, определяющие устойчивость функционирования ИАСУ, в том числе:

- а) Y_1 – надежность;
- б) Y_2 – живучесть;

R – свойства, отражающие затраты на разработку, изготовление и эксплуатацию ИАСУ.

Универсальным свойством, присущим ИАСУ любого назначения, является надежность – свойство, характеризующее способность ИАСУ реализовать свое предназначение в заданных условиях эксплуатации за определенный период. Это свойство определяется сущностью ИАСУ и реализуется разработкой и применением технических решений по обеспечению надежности, в том числе и определением критериев надежности на этапах проектирования ИАСУ.

Имеющаяся нормативно-техническая база, определяющая порядок обеспечения надежности технических систем и комплексов, не учитывает присущих ИАСУ особенностей, вследствие чего возникает актуальная проблема определения подходов и систематизации основных решений по обеспечению надежности ИАСУ специального назначения и ее компонентов.

ИАСУ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ КАК ОБЪЕКТ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ

При обеспечении надежности систем рассматриваемого класса необходимо решить ряд проблем, порожденных особенностями ИАСУ.

1. ИАСУ ориентируется на комплексную автоматизацию процессов управления. Необходимо определить требования к надежности и подход к их обеспечению для средств автоматизации и процессов (функциональных регламентов).

2. Создание ИАСУ осуществляется на принципах архитектурного подхода [1] поэтапно – эволюционно, что определяет аналогичные подходы к реализации процессов обеспечения надежности. При этом необходимо:

- формулирование четко специфицированных, динамически развивающихся целей и задач обеспечения надежности;
- обоснование критериев их достижения;
- формирование основных принципов и решений по надежности.

3. ИАСУ объединяет (интегрирует) большое количество специализированных АСУ и АС, а также взаимодействует со множеством внешних АСУ и комплексов (освещения обстановки, видов Вооруженных Сил, органов власти) и управляемыми объектами. Конструкторско-технологическая база этих систем различна и может меняться в течение жизненного цикла ИАСУ.

Эти особенности ИАСУ определяют подход к обеспечению ее надежности.

Обеспечение надежности подразумевает решение следующих задач:

- классификацию ИАСУ и ее компонентов с позиций надежности;
- определение номенклатуры нормируемых показателей надежности (ПН) в соответствии с классификацией изделий ИАСУ;
- определение ПН для изделий ИАСУ;
- разработка основных положений по достижению определенных ПН.

В общем случае нормируемые ПН включают [2]:

- показатели безотказности и ремонтпригодности, в том числе комплексные показатели;
- показатели долговечности;
- показатели сохраняемости.

На этапе проектирования ИАСУ актуальной проблемой является определение показателей безотказности и ремонтпригодности, поскольку показатели долговечности и сохраняемости обеспечиваются выбором аппаратно-конструкторской базы компонентов ИАСУ.

При определении показателей безотказности и ремонтпригодности необходимо учитывать типовую модель эксплуатации изделия, для которого задаются требования к надежности.

Показатели безотказности и ремонтпригодности включают:

- критерии отказов, применительно к которым задаются требования безотказности;
- значение требуемого времени непрерывной безотказной работы (безотказной наработки);
- значение требуемого времени восстановления (если изделие ремонтируемое);
- необходимый уровень готовности изделия.

Модель эксплуатации в общем случае включает:

- перечень эксплуатационных режимов (применение по назначению, возможность текущего или планового ремонтов, уровни допустимых внешних воздействующих факторов);
- заданный график работы и соответствующий коэффициент интенсивности эксплуатации;
- общую стратегию и характеристики технического обслуживания (ТО), показатели программной системы (ПС) контроля;
- общую стратегию проведения ремонтов;
- требования к максимальной длительности непрерывного функционирования.

Архитектура ИАСУ как объекта обеспечения надежности представлена на рисунке 1.

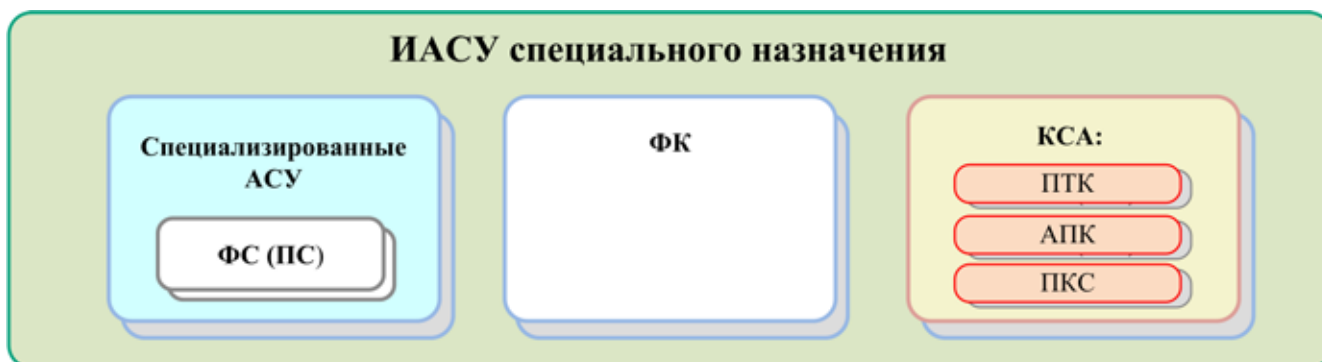


Рис. 1. Архитектура ИАСУ как объекта обеспечения надежности

Объектами обеспечения надежности ИАСУ, согласно представленной архитектуре, являются:

- ИАСУ в целом;
- специализированные АСУ, в совокупности составляющие ИАСУ специального назначения;
- функциональные системы (подсистемы) (ФС (ФС)), определяющие функциональный профиль специализированных АСУ;
- унифицированные функциональные контуры (ФК) ИАСУ (управления, информационно-расчетный, защиты информации, контрольно-технологический), реализующие функционирование ИАСУ специального назначения;
- комплексы средств автоматизации (КСА), обеспечивающие техническую поддержку функционирования специализированных АСУ, а также ИАСУ в целом.

В КСА, с учетом особенностей обеспечения надежности, следует выделить программно-технические комплексы (ПТК), аппаратные комплексы и средства (АКС), а также программные комплексы и средства (ПКС).

Классификация изделий ИАСУ с позиций обеспечения требований надежности

По результатам ряда исследований и технических разработок, выполненных при создании ИАСУ, установлено, с учетом [2], множество свойств ИАСУ $S = \{s_i, (p_k)\}$ и ее компонентов как объектов обеспечения надежности, где s_i – i -е свойство изделий с позиций оценки надежности, p_k – возможное значение этих свойств.

Для изделий определены следующие свойства:

- S_1 – область использования;
- S_2 – допустимые рабочие состояния;
- S_3 – режим применения;
- S_4 – возможность восстановления;
- S_5 – возможность обслуживания;
- S_6 – возможность отказов сбойного характера;
- S_7 – возможность осуществления контроля технического состояния в условиях эксплуатации.

Перечисленные свойства могут иметь следующие значения:

а) $S_1(p_{11}, p_{12})$,

где p_{11} – изделие конкретного применения;

p_{12} – изделия общего применения, используемые в качестве составных частей более крупных изделий;

б) $S_2(p_{21}, p_{22}, p_{23})$,

где p_{21} – изделие работоспособно;

p_{22} – изделие частично работоспособно;

p_{23} – изделие неработоспособно;

в) $S_3(p_{31}, p_{32}, p_{33})$,

где p_{31} – изделие, находящееся основную часть времени в режиме функционирования;

p_{32} – изделие, у которого периоды функционирования чередуются с периодами ожидания применения;

p_{33} – изделие, которое до применения по назначению находится в режиме ожидания и вторично применено быть не может;

г) $S_4(p_{41}, p_{42})$,

где p_{41} – изделие восстанавливаемое (технически возможно проведение текущего ремонта на объектах эксплуатации, в том числе с использованием ресурсов предприятий промышленности);

p_{42} – изделие невозстанавливаемое;

д) $S_5(p_{51}, p_{52})$,

где p_{51} – изделие обслуживаемое (предусмотрены проведение профилактических работ по определённому регламенту и контроль технического состояния);

p_{52} – изделие обслуживанию не подлежит;

е) $S_6(p_{61}, p_{62})$,

где p_{61} – в изделии невозможно возникновение отказов сбойного характера;

p_{62} – в изделии возможны отказы сбойного характера;

ж) $S_7(p_{71}, p_{72})$,

где p_{71} – в изделии предусмотрен контроль технического состояния изделия в процессе эксплуатации;

p_{72} – в изделии не предусмотрен контроль технического состояния изделия в процессе эксплуатации.

По результатам оценки технических свойств ИАСУ и её компонентов предлагается следующая классификация изделий с позиций обеспечения требований надежности:

- ИАСУ в целом – $S_1(p_{11}), S_2(p_{21}, p_{22}, p_{23}), S_3(p_{31}), S_4(p_{41}), S_5(p_{51}), S_6(p_{61}), S_7(p_{71})$;
- специализированные АСУ – $S_1(p_{11}), S_2(p_{21}, p_{22}, p_{23}), S_3(p_{31}), S_4(p_{41}), S_5(p_{51}), S_6(p_{61}), S_7(p_{71})$;
- ФК – $S_1(p_{12}), S_2(p_{21}, p_{22}, p_{23}), S_3(p_{31}), S_4(p_{41}), S_5(p_{51}), S_6(p_{61}), S_7(p_{71})$;
- ФС (ФП) – $S_1(p_{11}), S_2(p_{21}, p_{22}, p_{23}), S_3(p_{31}, p_{32}), S_4(p_{41}), S_5(p_{51}), S_6(p_{62}), S_7(p_{72})$;
- КСА – $S_1(p_{12}), S_2(p_{21}, p_{22}, p_{23}), S_3(p_{31}), S_4(p_{41}), S_5(p_{51}), S_6(p_{62}), S_7(p_{71})$;
- ПТК – $S_1(p_{12}), S_2(p_{21}, p_{22}, p_{23}), S_3(p_{31}, p_{32}), S_4(p_{41}), S_5(p_{51}), S_6(p_{62}), S_7(p_{71})$;
- АКС – $S_1(p_{12}), S_2(p_{21}, p_{22}, p_{23}), S_3(p_{31}, p_{32}), S_4(p_{41}), S_5(p_{51}), S_6(p_{62}), S_7(p_{71})$;
- ПКС – $S_1(p_{12}), S_2(p_{21}, p_{22}, p_{23}), S_3(p_{31}, p_{32}), S_4(p_{41}), S_5(p_{52}), S_6(p_{62}), S_7(p_{71})$.

Подход к ОБЕСПЕЧЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ ИАСУ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Учитывая приведенные свойства, определим показатели, характеризующие безотказность и ремонтпригодность ИАСУ в целом.

Для оценки безотказности рекомендуется использовать показатель T_0 – среднее время безотказной работы на интервале $t(0, T)$. ИАСУ может находиться в следующих состояниях:

- работоспособна (S_p);
- частично работоспособна ($S_{чр}$);
- неработоспособна ($S_{нр}$);

Состояния S ИАСУ определяются состоянием ее ФК $S = \{S_u, S_i, S_z, S_k\}$.

ИАСУ находится в состоянии S_p , если в этом состоянии находятся все ФК.

ИАСУ находится в состоянии $S_{чр}$, если неработоспособен или частично работоспособен хотя бы один из ФК.

ИАСУ находится в состоянии $S_{нр}$, если неработоспособны все контуры.

Предлагаются следующие критерии отказов ИАСУ:

- частичный отказ наблюдается, если ИАСУ переходит в состояние $S_{чр}$;
- полный отказ наблюдается, если ИАСУ переходит в состояние $S_{нр}$.

Для оценки ремонтпригодности предлагается, следуя распространенной практике, использовать показатель «среднее время восстановления» $T_в$, которое учитывает время, необходимое для перевода ИАСУ:

- из состояния $S_{нр}$ в состояние $S_{чр}$;
- из состояния $S_{чр}$ в продвинутое состояние $S_{чр}$;
- из состояния $S_{чр}$ в состояние S_p ;

- из состояния $S_{нр}$ в состояние S_p .

В качестве комплексного показателя надежности предлагается функциональный коэффициент готовности $K_{эф}$, определяемый по формуле:

$$K_{эф} = K_z \cdot K_{эф} \tag{2}$$

где $K_z = T_0 / (T_0 + T_в)$ – коэффициент готовности ИАСУ, характеризующий вероятность нахождения ИАСУ в работоспособном состоянии;

$K_{эф}$ – коэффициент эффективности ИАСУ.

$K_{эф}$ учитывает снижение качества функционирования ИАСУ в состоянии $S_{чр}$. Значение $K_{эф}$ определяется экспертным путем в диапазоне [0,1]. $K_{эф} = 1$ для состояния S_p .

Аналогичный подход используется для учета специфики частичных отказов в КСА.

Требуемая надежность ИАСУ обеспечивается путем:

- увеличения T_0 за счет выбора надежных компонентов, применения необходимой избыточности оборудования и своевременного проведения профилактических работ;
- уменьшения $T_в$ за счет повышения квалификации обслуживающего персонала и использования средств функционально-технического контроля.

Подход к ОБЕСПЕЧЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ АСУ

Классификационные признаки специализированных АСУ совпадают с признаками ИАСУ, поэтому номенклатура нормируемых показателей надежности является аналогичной. Значения показателей могут отличаться с учетом специфики прикладной области.

Подход к ОБЕСПЕЧЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ ФК ИАСУ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Номенклатура классификационных признаков ФК отличается тем, что они являются изделиями общего применения (могут использоваться в составе ИАСУ и специализированных АСУ), а также возможностью отказов сбойного характера.

Ориентация на использование в ИАСУ и АСУ означает, что показатели надежности ФК должны соответствовать требованиям к надежности ИАСУ (АСУ).

В качестве комплексного показателя надежности ФК предлагается функциональная надежность $P(W)$, характеризующая полноту выполняемых контуром функций:

$$P(W > W_{дон}) > P_{дон} \tag{3}$$

где $W = \sum_{i=1}^N f_i \cdot b_i$ – наблюдаемый уровень функциональности ФК $f_i = [0, 1]$, $b_i = (0, 1)$;

$W_{дон}$ – допустимый уровень функциональности ФК;

$P_{дон}$ – допустимая вероятность;
 f_i – вес функциональности i -й функции;
 b_i – признак наличия i -й функции.

Показатели $W_{дон}$, $P_{дон}$ следует задавать в техническом задании на ФК.

Для оценки безотказности рекомендуется использовать показатель T_0 – среднее время безотказной работы на интервале $t(0, T)$. Отказом считается ситуация, при которой не выполняется условие (3), в том числе вследствие отказов сбойного характера.

Отказы сбойного характера возникают при незащищенности программного обеспечения от аппаратурных сбоев, причиной которых могут быть нештатные условия внешней среды (температура, электронные наводки, ошибочные действия оператора и т. д.).

Отказы сбойного характера приводят к отказам программного обеспечения, проявлением которых являются:

- остановка выполнения программы;
- закливание программы;
- ошибочные результаты работы программы.

В результате наблюдается отказ выполнения функции, что влияет на функциональную надежность ФК.

Подход к оценке надежности программных средств приводится в соответствующем разделе настоящей статьи.

Для оценки ремонтпригодности предлагается показатель «среднее время восстановления функциональности (T_g)», который учитывает время, необходимое для повышения функциональности ФК до требуемого уровня.

Требуемая надежность ФК обеспечивается средствами, представленными в ИАСУ (функциональный контроль, проведение профилактических работ по определенному регламенту), а также использованием программного обеспечения, защищенного от аппаратурных сбоев и создаваемого по технологиям, обеспечивающим минимизацию ошибок программного кода.

Подход к обеспечению надежности ФС (ФП)

В качестве комплексного показателя надежности ФС (ФП) предлагается коэффициент оперативной готовности $K_{ог} = K_z \cdot P(t + t_g)$, (4) где K_z – коэффициент готовности КСА, на котором установлена ФС (ФП);

t_g – время выполнения ФС (ФП);

$P(t + t_g)$ – вероятность успешного завершения вызванной ФС (ФП).

Для оценки безотказности ФС (ФП) рекомендуется использовать показатель T_0 – среднее время безотказной работы на интервале $(t + t_g)$, определяемое для каждой ФС (ФП).

Признаками отказа ФС (ФП) являются:

- ошибки в выдаваемых результатах;

- закливание или прерывание работы программы, реализующей ФС (ФП).

Для оценки ремонтпригодности ФС (ФП) предлагается показатель «среднее время восстановления (T_g)», который учитывает время, необходимое для восстановления функционирования ФС (ФП).

Восстановление может осуществляться перезагрузкой ФС (ФП) (в случае, если произошел отказ сбойного характера), или путем временной (на период исправления программы разработчиком) блокировки участка программного кода, содержащего ошибку.

Требуемая надежность ФС (ФП) обеспечивается средствами, представленными в ИАСУ (функциональный контроль, проведение профилактических работ по определенному регламенту), а также использованием программного обеспечения ФС (ФП), защищенного от аппаратурных сбоев и создаваемого по технологиям, обеспечивающим минимизацию ошибок программного кода.

Подход к обеспечению надежности КСА

В КСА, с учетом особенностей обеспечения надежности, можно выделить ПТК, АКС, а также ПКС.

Для обеспечения требуемой надежности при проектировании КСА предусматриваются следующие меры:

- резервирование аппаратных средств;
- резервное копирование баз данных;
- выбор рациональной периодичности и объема профилактических мероприятий;
- сокращение времени восстановления за счет детального диагностирования места отказа.

Исходя из квалификационной группы для изделий данного типа нормируются следующие показатели надежности [2]:

а) единичные:

- средняя наработка на отказ T_0 ;
- среднее время восстановления T_g ;

б) комплексные:

- коэффициент готовности K_z ;
- коэффициент технического использования $K_{ми}$.

Задача КСА в части надежности – обеспечение безотказного выполнения возложенных на него функций в заданном интервале времени в допустимых условиях обстановки.

Из анализа содержания задачи видно, что традиционно используемые показатели, такие как наработка на отказ, среднее время восстановления и коэффициент готовности, не позволяют достаточно полно оценивать возможность выполнения КСА своих функций с точки зрения надежности. Как следствие этого, комплексная оценка надежности КСА не производится, а на практике ограничиваются сведениями об уровне надежности технических средств, не выходя на характеристики КСА в целом.

Основным критерием оценки состояния КСА является его способность не допускать перерывов в функционировании задач по своему предназначению. То есть

КСА должен сохранять работоспособное состояние в течение всего времени, отводимого на решение i -й функциональной задачи (ФЗ) t_{ϕ_3} . Вследствие стохастической природы протекающих в КСА процессов данный показатель состояния КСА является случайным. Математически оценивается такое состояние коэффициентом оперативной готовности.

Коэффициент оперативной готовности (K_{oz}) – 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 $(t + t_{\phi_3})$. Коэффициент оперативной готовности при определенных условиях представляет собой произведение коэффициента готовности и вероятности безотказной работы ГОСТ Р 53480-2009 [7].

$$K_{oz} = K_z \cdot P_i(t + t_{\phi_3}), \quad (5)$$

где $P_i(t + t_{\phi_3})$ – вероятность безотказной работы в течение времени, отводимого на решение i -й ФЗ;

$$K_z = \frac{T_0}{T_0 + T_g} \text{ – коэффициент готовности.} \quad (6)$$

Коэффициент готовности – это вероятность того, что КСА окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени [1].

В составе КСА можно выделить технические средства (ТС) и функционирующие на их базе ПКС.

В основе моделей оценок ТС КСА лежит вероятностный метод, использующий параметры интенсивности отказов и восстановлений [3–5].

Интенсивность отказов $\lambda(t)$ ТС является функцией времени и для большинства КСА имеет типовую зависимость, в которой можно выделить три характерных периода: приработки, нормальной эксплуатации и старения.

При оценках и моделировании надежности КСА расчеты проводят для стационарных процессов, характерных для периода нормальной эксплуатации.

Используя в качестве исходных данных интенсивность отказов ТС $\lambda(t)$, можно определить:

- вероятность безотказной работы ТС КСА

$$P(t) = e^{-\lambda(t)}; \quad (7)$$

- вероятность безотказной работы ТС КСА в интервале времени от t до τ

$$P(t + \tau) = e^{-\lambda(t) \cdot \tau}; \quad (8)$$

- среднюю наработку на отказ ТС КСА

$$T_0 = \frac{1}{\lambda(t)}. \quad (9)$$

Интенсивность потока отказов аппаратной части КСА в целом определяется параметром потока отказов

$\Lambda = \sum_{i=1}^N \lambda_i(t)$, равным сумме всех интенсивностей отказов ТС КСА.

Показатели надежности аппаратной части КСА в целом можно оценить по выражениям (7), (8), (9), заменив в них поток интенсивностей отказов ТС $\lambda(t)$ на параметр потока отказов Λ .

Интенсивность восстановлений ТС $\mu(t)$ также является функцией времени и показывает, какая доля от остающихся на ремонте ТС КСА восстанавливается в последующую единицу времени.

Используя в качестве исходных данных интенсивность восстановлений ТС КСА $\mu(t)$ можно определить:

- вероятность восстановления ТС КСА

$$P_g(t) = 1 - e^{-\mu(t)}; \quad (10)$$

- вероятность восстановления ТС КСА в интервале времени от t до τ

$$P_g(t + \tau) = 1 - e^{-\mu(t) \cdot \tau}; \quad (11)$$

- среднее время восстановления ТС КСА

$$T_g = 1 / \mu(t) \text{ и др.} \quad (12)$$

Интенсивности отказов и восстановлений ТС КСА применяют для оценки комплексных показателей надежности:

- коэффициента готовности КСА

$$K_z = \frac{T_0}{T_0 - T_g}; \quad (13)$$

- коэффициента оперативной готовности КСА

$$K_{oz} = K_z \cdot P(t + \Delta t); \quad (14)$$

- коэффициента технического использования КСА

$$K_{mi} = \frac{T_p}{T_{Общ}}, \quad (15)$$

где T_p – время нахождения КСА в работоспособном состоянии;

$T_{Общ}$ – общая продолжительность эксплуатации, включая все виды ТО.

К элементам КСА, включающим ТС и функционирующие на их базе программные комплексы (ПК), относятся ПТК.

Расчет показателей надежности ПТК проводится исходя из понятия его отказа. Отказ ПТК наступает в следующих случаях:

- отказало ТС;
- отказал ПК;
- одновременный отказ как ТС, так и ПК.

Отказ ТС обусловлен отказами электрорадиоизделий, входящих в его состав, и рассчитывается вероятностным методом, рассмотренным выше [6].

Отказ ПК происходит в следующих случаях [7]:

- проявления ошибки, имеющейся в программе, в момент выполнения ФЗ;
- сбоя в аппаратной базе, приводящего к нарушению (останову, зацикливанию) вычислительного процесса и, как результат, отказу ПТК.

На основе понятия отказа строится схема расчета надежности (СРН) ПТК. Элементами СРН являются ТС и ПК ПТК, используемые как единое целое при определении отказа ПТК. ПК соединяется с ТС последовательно в соответствии с рисунком 2, отказ любого из них приводит к отказу всего ПТК.



Рис. 2. Надежностная схема ПТК

В основу расчета надежности ПТК положена модель, позволяющая представить отказ ПТК как совокупность показателей надежности взаимосвязанных элементов.

Исходными данными для расчета надежности ПТК являются:

- интенсивность отказов ТС λ_{mc} ;
- интенсивность отказов ПК из-за ошибок в программе выполняемой ФЗ $\lambda_{нк}$;
- интенсивность восстановления аппаратных средств μ_{mc} ;
- интенсивность восстановления программных средств $\mu_{нк}$.

Интенсивность отказов последовательно соединенных элементов ПТК вычисляется по формуле:

$$\lambda_{ПТК} = \lambda_{mc} + \lambda_{нк}. \quad (16)$$

Отказ ПК может произойти либо в результате обнаруженной ошибки в программе, либо в результате сбоя ТС, приводящего к нарушению вычислительного процесса. При этом отказ ПК может произойти в момент работы ПК, т. е. при выполнении ПТК ФЗ. Интенсивность отказов ПК, участвующего в реализации функций ПТК, рассчитывается по формуле:

$$\lambda_{нк} = \lambda_{фз} \cdot t_{фз} (\lambda_{ош} + \lambda_{сбфз}^к), \quad (17)$$

где $\lambda_{фз}$ – интенсивность выполнения ФЗ;

$t_{фз}$ – время выполнения ФЗ;

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

$\lambda_{сбфз}^к$ – интенсивность сбоев, приводящих к нарушению вычислительного процесса при выполнении ФЗ.

Интенсивность сбоев $\lambda_{сбфз}^к$, приводящих к нарушению вычислительного процесса, является интегрированным свойством ПТК. В ПТК $\lambda_{сбфз}^к$ вычисляется как

произведение вероятности безотказного функционирования $P(t + t_{фз})$ на интенсивность отказов ТС:

$$\lambda_{сбфз}^к = P(t + t_{фз}) \cdot \lambda_{mc}, \quad (18)$$

где $t_{фз}$ – оперативное время выполнения ФЗ;

$P(t + t_{фз})$ – вероятность безотказного функционирования ПТК в период выполнения ФЗ.

Интенсивность восстановлений последовательно соединенных элементов ПТК вычисляется по формуле [4]:

$$\mu_{ПТК} = \frac{\mu_{mc} \cdot \mu_{нк} \cdot (\mu_{mc} + \mu_{нк})}{\mu_{mc}^2 + \mu_{mc} \cdot \mu_{нк} + \mu_{нк}^2}. \quad (19)$$

Обобщенные показатели интенсивностей отказов $\lambda_{ПТК}$ и восстановлений $\mu_{ПТК}$ ПТК можно использовать в выражениях (1)–(11) для оценки безотказности, ремонтпригодности и комплексных показателей надежности ПТК.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье приведено обоснование и теоретическое описание основных решений по обеспечению надежности ИАСУ специального назначения. Надежность как универсальное свойство определяется сущностью ИАСУ и реализуется разработкой и применением системного подхода и основных решений по обеспечению надежности ИАСУ специального назначения и ее компонентов.

Сформулированы цели и задачи обеспечения надежности, проведена классификация ИАСУ и ее компонентов как объектов обеспечения надежности, обоснована номенклатура нормируемых показателей надежности в соответствии с классификацией изделий ИАСУ, определены показатели надежности для изделий ИАСУ, разработаны основные положения по достижению заявленных показателей надежности.

Новизна предложенного подхода определяется особенностями ИАСУ как объекта обеспечения надежности, а также решением проблем надежности на всех уровнях представления ИАСУ.

Настоящая статья представляет интерес для специалистов, занимающихся созданием АСУ специального назначения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Егоров Ю.П., Смикун П.И., Тепер И.А. Унифицированный комплекс средств автоматизации как прикладная платформа реализации программных изделий функциональных подсистем ИАСУ // Автоматизация процессов управления. – 2005. – № 2 (6). – С. 19–28.
2. ГОСТ РВ 27.3.01-2005. Надежность военной техники. Состав и общий порядок задания требований к надежности. – М. : Стандартинформ, 2005. – 29 с.
3. ГОСТ 27.301-95. Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения. – М. : Издательство стандартов, 1996. – 15 с.
4. РД В5Р.8677-83. Изделия судового приборострое-

ния. Методы расчета показателей безотказности. – М. : Издательство стандартов, 1984. – 97 с.

5. РД 5Р.8698-84. Изделия судового приборостроения. Методика оценки среднего времени восстановления в процессе проектирования и по результатам испытаний. – М. : Издательство стандартов, 1985. – 47 с.

6. Егоров Ю.П., Пятаков А.И. Подход к построению функциональной системы управления надежностью

на предприятиях оборонной промышленности // Автоматизация процессов управления. – 2012. – № 3 (29). – С. 56–62.

7. Егоров Ю.П., Пятаков А.И., Чернышев И.В. Оценка влияния оперативного контроля на надежность аппаратно-программного комплекса АСУ // Автоматизация процессов управления. – 2013. – № 3 (33). – С. 21–26.