

УДК 621.396

Ю.П. Егоров, А.И. Пятаков, Л.И. Сулейманова

ОЦЕНКА ГОТОВНОСТИ ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА К РЕШЕНИЮ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ЗАДАЧ

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: yupe@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].

Сулейманова Лилия Ирфановна, кандидат технических наук, окончила энергетический факультет Ульяновского государственного технического университета, ведущий инженер ФНПЦ АО «НПО «Марс». Имеет публикации и изобретения в области измерительных преобразователей больших постоянных токов. [e-mail: suleimanova.lili@mail.ru].

Аннотация

Усложнение функций, выполняемых программно-техническими комплексами (ПТК) автоматизированных систем управления, ставит перед разработчиками задачу определения вероятности сохранения работоспособного состояния ПТК в течение времени, отводимого на решение функциональной задачи. Проблематике прогнозирования надежности и оценке готовности ПТК к решению задач посвящена данная статья.

Авторами предложена модель представления ПТК совокупностью функциональных контуров. Обосновывается, что при этом повышает точность оценки готовности ПТК к решению функциональных задач.

В статье в качестве основного показателя, характеризующего готовность ПТК к решению функциональных задач, выбран коэффициент оперативной готовности, вычисляемый на основе как текущих, так и статистических показателей надежности компонентов, образующих функциональный контур.

Предложен алгоритм прогнозирования загрузки центрального процессора, оперативной и внешней памяти вычислительных средств ПТК, использующий эффект экспоненциального сглаживания статистических данных, предшествующих периоду прогноза.

В статье также формулируются рекомендации операторам и обслуживающему персоналу по практическому применению предложенной методики.

Ключевые слова: надежность, оценка надежности, функциональная надежность, надежность программно-технических комплексов, показатели надежности.

ESTIMATION OF HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEX READINESS TO SOLVE THE FUNCTIONAL TASKS

Iurii Petrovich Egorov, Doctor of Engineering, Professor; graduated from the Faculty of Radioengineering at 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 monographs, articles, inventions in the field of computer-aided control systems design. e-mail: yupe@mail.ru.

Anatolii Ivanovich Piatakov, Candidate of Engineering; graduated from the Marshal Budjonny Military Academy of Signal Corps; completed his postgraduate studies ibidem; Chief Specialist of FRPC JSC 'RPA 'Mars'; specializes in the field of in 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.

Lilia Irfanovna Suleimanova, Candidate of Engineering; graduated from the Power Engineering Faculty of Ulyanovsk State Technical University; Lead Engineer at FRPC JSC 'RPA 'Mars'; an author of articles and inventions in the field of heavy DC detector means. e-mail: suleimanova.lili@mail.ru.

Abstract

In view of the increasing complexity of performed hardware and software functions of automated management systems, designers focus on the task to determinate the probability of hardware and software availability for a time intended for solving the functional objective. The article deals with the problems of reliability prediction and estimation of hardware and software readiness to solve the tasks.

Authors offer a model of hardware and software presented as a functional part set. The things that improving the accuracy of estimation of the hardware and software readiness to solve functional tasks are justified.

Authors present an operational availability factor chosen as a key characteristic of the hardware and software readiness to solve functional tasks. It is calculated on the basis of both current and statistical reliability indices of system components that make the functional parts.

A prediction algorithm for the loading of central processor unit, RAM and external memory of the computer system is proposed. It uses an effect of exponential smoothing of statistical data before the period of prediction.

The recommendations for operators and operating personnel on the practical application of methods proposed are presented in the article.

Key words: reliability, reliability evaluation, functional reliability, software and hardware reliability, reliability performances.

ВВЕДЕНИЕ

Теоретический и практический уровни современной теории надежности программно-технических комплексов (ПТК) достаточно высок. Ни одна сложная автоматизированная система управления не проектируется без оценки надежности ПТК. Для обеспечения заданной надежности ПТК применяется широкий спектр методов и средств, позволяющих из относительно ненадежных компонентов создавать высоконадежные комплексы. Эти методы и средства используют различные виды избыточности с целью предотвращения отказов и минимизации их влияния на качество функционирования ПТК.

Сложность ПТК увеличивается с ростом сложности и числа выполняемых функций. Чем больше функций возлагается на ПТК, тем сложнее становится задача обеспечения его надежности. Закономерно пользователи ПТК выдвигают перед разработчиками требование оценки готовности комплекса к успешному выполнению заданных функций и задач. Проблематике разработки методики прогнозирования надежности и оценки готовности ПТК к выполнению заданных функций и задач посвящена данная статья.

ПТК КАК ОБЪЕКТ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ

Основным критерием оценки свойств ПТК в аспекте надежности является его способность успешно решать функциональные задачи по своему предназначению.

Математически оценивают такое состояние коэффициентом готовности K_z . Коэффициент готовности – это вероятность того, что изделие окажется в работоспособном состоянии в данный момент времени (ГОСТ Р 27.002-2015).

$$K_z = \frac{T_o}{T_o + T_g}, \quad (1)$$

где T_o – среднее время безотказной работы изделия;

T_g – среднее время восстановления изделия.

Помимо готовности к решению задачи, ПТК должен сохранять работоспособное состояние в течение всего времени, отводимого на решение задачи. Вследствие стохастической природы протекающих в вычислительных системах процессов данный показатель состояния ПТК является случайным. Математически оценивается такое состояние коэффициентом оперативной готовности K_{oz} .

Коэффициент оперативной готовности – это вероятность того, что изделие в данный момент времени t_1 находится в работоспособном состоянии и, начиная с этого момента, выполнит требуемую функцию (задачу) при данных условиях в интервале (t_1, t_2) . Коэффициент оперативной готовности при определенных условиях представляет собой произведение коэффициента готовности и вероятности безотказной работы (ГОСТ Р 53480-2009).

$$K_{oz} = K_z \cdot P(t_1, t_2), \quad (2)$$

где $P(t_1, t_2)$ – вероятность безотказной работы в течение интервала времени (t_1, t_2) .

В [1, 2] коэффициент оперативной готовности ПТК ($K_{oz ПТК}$) в целом предлагается определять как произведение коэффициентов оперативной готовности всех входящих в него программных (ПС) и технических средств (ТС) с учетом их коэффициента важности.

$$K_{ozПТК} = \prod_{i=1}^n K_{oz_i} v_i, \quad (3)$$

где n – количество входящих в ПТК ТС и (или) ПС;

v_i – коэффициент важности i -го ТС и (или) ПС;

K_{oz_i} – коэффициент оперативной готовности i -го ТС и (или) ПС.

Предлагаемый интегрированный показатель имеет обобщенный характер и не позволяет судить о возможности выполнения той или иной функции (задачи). Кроме того, коэффициент важности v i -го ТС (ПС) определяется экспертно и не исключает субъективных оценок. При расчетах это может привести к неадекватным результатам.

Предлагается проводить оценку по функциональному принципу. Для этого необходимо представить ПТК совокупностью контуров $S\{A, B, \dots, C\}$ (рис. 1), выделенных по функциональному признаку (функциональных контуров).

Определим функциональный контур S_k как виртуальную общность программных и технических компонент ПТК, обеспечивающих выполнение функций (задач) определенного класса, однородных в аспекте требований надежности.

По результатам ряда исследований и технических разработок, выполненных при создании ПТК, установлено множество свойств $F = \{f_i(p_k)\}$ функций ПТК, учитываемых при формировании функциональных контуров, где f_i – i -е свойство функции с позиций оценки надежности, p_k – возможное значение этих свойств.

Для функций определены следующие свойства:

F_1 – предъявляемые требования надежности;

F_2 – предъявляемые требования к гарантированному времени обработки информации;

F_3 – возможность прерывания обработки информации;

F_4 – объем обрабатываемой информации;

F_5 – участие человека (пользователя) при выполнении функции.

Предлагаются следующие возможные значения перечисленных свойств:

$$F_1(p_{11}, p_{12}, p_{13}),$$

где p_{11} – предъявляются высокие требования надежности;

p_{12} – предъявляются средние требования надежности;

p_{13} – предъявляются низкие требования надежности.

$$F_2(p_{21}, p_{22}, p_{23}),$$

где p_{21} – предъявляются высокие требования к гарантийному времени обработки информации;

p_{22} – предъявляются средние требования к гарантийному времени обработки информации;

p_{23} – требования к гарантийному времени обработки информации не предъявляются.

$$F_3(p_{31}, p_{32}, p_{33}),$$

где p_{31} – возможность остановки обработки информации не допускается;

p_{32} – допускается возможность кратковременной приостановки обработки информации;

p_{33} – возможность прерывания обработки информации допускается.

$$F_4(p_{41}, p_{42}, p_{43}),$$

где p_{41} – объем обрабатываемой информации большой;

p_{42} – объем обрабатываемой информации средний;

p_{43} – объем обрабатываемой информации малый.

$$F_5(p_{51}, p_{52}, p_{53}),$$

где p_{51} – участие человека (пользователя) при выполнении функции не предусматривается;

p_{52} – участие человека (пользователя) при выполнении функции предусматривается эпизодически;

p_{53} – без участия человека функция не выполняется.

В качестве примеров функциональных контуров могут быть использованы:

- контур управления S_1 , характеризующийся свой-

ствами $(p_{11}, p_{21}, p_{31}, p_{43}, p_{52})$;

- контур обеспечения функциональной деятельности должностных лиц S_2 , обладающий свойствами $(p_{12}, p_{22}, p_{33}, p_{41}, p_{53})$;

- контур контроля функционирования S_3 , характеризующийся свойствами $(p_{12}, p_{22}, p_{32}, p_{42}, p_{51})$.

Разбиение изделия на контуры позволяет более точно оценить готовность ПТК к выполнению конкретной задачи. Преимущества функционального подхода оценены в работе [3].

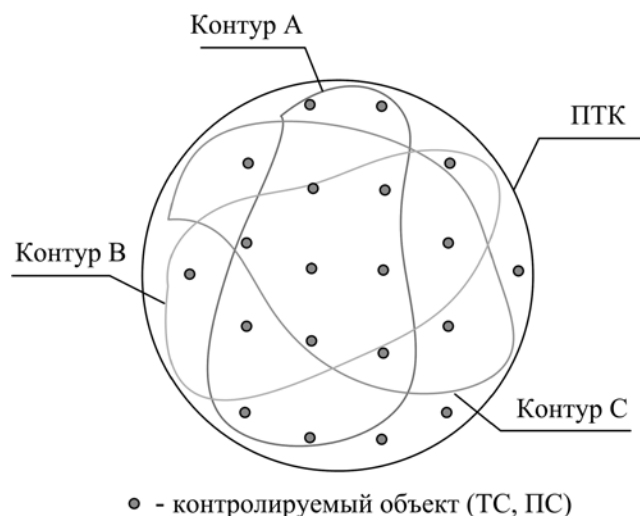


Рис. 1. Представление ПТК по функциональному принципу

Если в выражении (2) контролируемые средства S (ТС, ПС), не входящие в оцениваемый контур S_p , считать абсолютно надежными $\bigcup_i K_{oS_i} = 1$, где $S_i \notin S_p$ и не влияющими на функцию, выполняемую контуром S_p , то выражение (2) можно представить как:

$$K_{oS_p} = K_{oS_i} \cdot P(t_1, t_2), \quad (4)$$

где S_i – оцениваемый контур ПТК.

Например, ПТК, представленный на рисунке 2, состоит из трех автоматизированных рабочих мест (АРМ), двух комплексов аппаратуры передачи данных (АПД), одной локальной вычислительной сети (ЛВС) и одного сервера, а оцениваемый контур S_i включает только сервер, АРМ 3, АПД 2 и ЛВС.

Для оценки коэффициента готовности ПТК используют модель безотказности. Основу модели безотказности составляет структурная схема надежности (ССН) ПТК, в нашем случае контура S_i [4].

ССН контура S_i представляет собой графическое изображение структурно-функциональных связей между компонентами и ПТК в целом с учетом взаимодействия компонентов, способов резервирования и других факторов (рис. 3).

Компонентой ССН является функционально-законченная часть контура S_p , используемая при определении отказа контура. Компонентами функционального контура, представленного на рисунке 3, являются АРМ 3, ЛВС, ПС 2, ПС 4, ПС j , АПД 2 и сервер в составе двух вычислительных машин (ВМ).

Компоненты ССН соединяются последовательно, если отказ любого из них приводит к отказу контура S_i .

Если отказ компоненты не приводит к отказу контура S_p , то такой элемент включается в ССН параллельно.

Применение предлагаемого в данной работе метода основывается на двух предположениях:

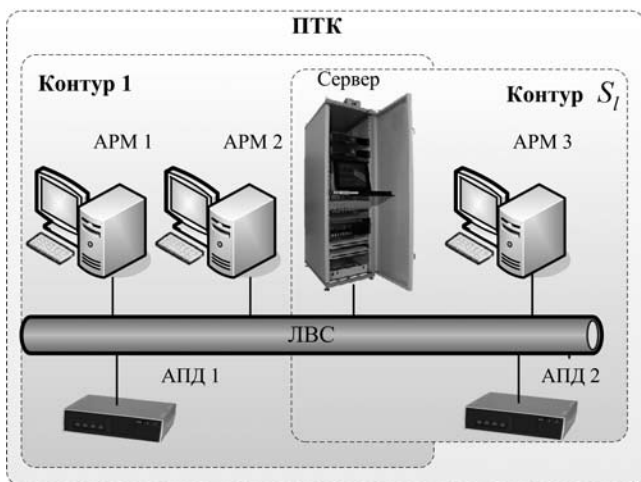


Рис. 2. Разбиение ПТК на функциональные контуры

1. Компоненты контура S_i (или блоки, их представляющие в ССН) могут существовать только в одном из двух состояний: работоспособном или неработоспособном;

2. Отказ (или ремонт) любого блока не влияет на вероятность отказа (или ремонта) любого другого блока системы. Это означает, что имеются достаточные ресурсы для обслуживания блоков, нуждающихся в ремонте, и что любое необходимое количество специалистов может заниматься восстановлением конкретного блока одновременно. Таким образом, предполагается, что отказы и ремонт отдельных блоков являются статистически независимыми событиями.

Расчет вероятности безотказной работы в течение интервала времени (t_1, t_2) , проводится исходя из понятия отказа контура S_i в целом. Отказ контура S_i наступает при отказе хотя бы одной компоненты ССН, соединяемой последовательно. Факторы, влияющие на надежность компонент ПТК рассмотрены в [5].

Исходные данные для оценки состояния ПТК

Исходными данными для оценки состояния контура S_i являются результаты работы его системы контроля и диагностирования. К исходным данным следует отнести:

- количество ТС $(\overline{1, n})$, представленных в ССН контура S_i ;
- состояние каждого i -го ТС $a_i, i = 1, n$, входящего в контур S_i (определяется системой диагностирования конкретного ПТК);
- количество контролируемых программ $(\overline{1, p})$, модулей $(\overline{1, m})$, задач $(\overline{1, z})$ контура S_i ;
- состояние каждой j -й контролируемой программы $p_j, j = 1, p$, модуля $p_j, j = 1, m$, задачи $p_j, j = 1, z$, реализуемых в составе контура S_i ;
- загрузку центрального процессора $W_{цп}$;
- объем свободного пространства оперативной памяти ПТК $V_{оп}$;
- объем свободного пространства накопителя на жестком магнитном диске (НЖМД) ПТК $V_{нжмд}$;
- статистические данные по надежности контура S_i (средняя наработка на отказ T_{oi} , среднее время восстановления T_{vi}).

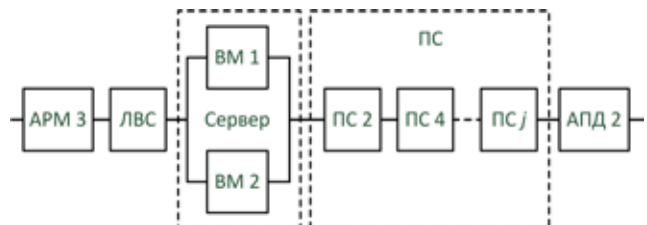


Рис. 3. ССН контура S_i

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ

Пусть ПТК автоматизирует функции должностных лиц путем реализации l контуров.

В соответствии с СН, каждый контур задействует для своего выполнения определенные ТС и ПС. Следовательно, выражение (4) можно представить в следующем виде:

$$K_{озS_i} = K_{э_{T_{S_i}}} \cdot K_{э_{П_{S_i}}} \cdot P_T(t_1, t_2) \cdot P_{П}(t_1, t_2), \quad (5)$$

где $K_{озS_i}$ – коэффициент готовности ТС контура S_i ;

$K_{э_{T_{S_i}}}$ – коэффициент готовности ПС контура S_i ;

$P_T(t_1, t_2)$ – вероятность безотказной работы ТС в течение интервала времени (t_1, t_2) ;

$P_{П}(t_1, t_2)$ – вероятность безотказной работы ПС в течение интервала времени (t_1, t_2) .

Однако, даже при исправном оборудовании и программном обеспечении, функциональная задача контура S_i может быть не выполнена или выполнена с задержкой, если для ее решения на текущий момент времени недостаточно ресурсов.

В окончательном виде выражение для вычисления коэффициента оперативной готовности контура S_i представим в следующем виде:

$$K_{озS_i} = K_{э_{T_{S_i}}} \cdot K_{э_{П_{S_i}}} \cdot P_T(t_1, t_2) \cdot P_{П}(t_1, t_2) \cdot P_{pec}, \quad (6)$$

где P_{pec} – вероятность того, что для решения функциональной задачи контура S_i окажется достаточно свободных ресурсов.

Рассмотрим последовательно порядок вычисления каждого из параметров выражения (6).

Коэффициенты готовности ТС, ПС к решению функциональных задач $K_{э_{T_{S_i}}}$ зависят как от безотказности работы ТС, ПС за прошедший период (с начала эксплуатации, год, квартал), так и от текущего их состояния:

$$K_{э_{T_{S_i}}} = K_{э_{T_{cm_i}}} \cdot K_{T_{тек_i}}, \quad (7)$$

$$K_{э_{П_{S_i}}} = K_{э_{П_{cm_i}}} \cdot K_{П_{тек_i}}, \quad (8)$$

где $K_{э_{T_{cm_i}}}$ ($K_{э_{П_{cm_i}}}$) – статистический коэффициент готовности ТС (ПС) контура S_i ;

$K_{T_{тек_i}}$ ($K_{П_{тек_i}}$) – поправочный коэффициент, характеризующий текущее состояние ТС (ПС) контура S_i .

Статистический коэффициент готовности ТС контура S_i вычисляется по формуле:

$$K_{э_{T_{cm_i}}} = \frac{T_{о_{T_i}}}{T_{о_{T_i}} + T_{в_{T_i}}}, \quad (9)$$

где $T_{о_{T_i}}$ – среднее время исправной работы ТС контура S_i с начала эксплуатации (лучше за последний год);

$T_{в_{T_i}}$ – среднее время восстановления ТС контура S_i с начала эксплуатации (лучше за последний год).

Поправочный коэффициент, характеризующий текущее состояние ТС, вычисляется по формуле:

$$K_{T_{тек_i}} = \frac{N_T}{N_{T_{общ}}} \cdot K_{рез}, \quad (10)$$

где N_T – количество исправных ТС в контуре S_i ;

$N_{T_{общ}}$ – общее количество ТС в контуре S_i ;

$K_{рез}$ – коэффициент резервирования ТС, входящих в контур S_i .

$$K_{рез} = \prod_{i=1}^n (a_1 + a_2)_i, \quad (11)$$

где a_1, a_2 – состояние ТС в резервируемой группе, определенное системой внутреннего диагностирования.

При исправной работе $a_1 = 0,5$ и $a_2 = 0,5$. Для нерезервируемого ТС $a_1 = 1, a_2 = 0$. При отказе одного из ТС соответствующий признак состояния становится равным 0.

Таким образом, отказ одного из резервируемых ТС приводит к снижению коэффициента готовности, а отказ обоих ТС в резервируемой группе или нерезервируемого ТС – к обращению коэффициента готовности в ноль.

Статистический коэффициент готовности ПС контура S_i вычисляется по формуле:

$$K_{э_{П_{cm_i}}} = \frac{\sum_i^Z N_{выз_{-i}}}{\sum_i^Z N_{выз_{-i}} + \sum_i^Z N_{сб_{-i}}}, \quad (12)$$

где $N_{выз_{-i}}$ – количество вызовов i -й задачи;

$N_{сб_{-i}}$ – количество вызовов i -й задачи с аварийным завершением;

Z – количество задач, решаемых в контуре S_i .

Для оценки поправочного коэффициента $K_{П_{тек_i}}$ характеризующего текущее состояние ПС контура S_i , предлагается всю совокупность ПС $\{p_1, p_2, p_3 \dots p_i\}$, модулей $\{m_1, m_2, m_3 \dots m_j\}$ и задач $\{z_1, z_2, z_3 \dots z_k\}$ разделить на две группы.

В первую группу Q включить программы, модули, задачи, участвующие в автоматизации функций должностных лиц, отказ любой из которых приводит к отказу контура S_i :

$$\{p_1, p_2, p_3 \dots p_j\}, \{m_1, m_2, m_3 \dots m_j\}, \{z_1, z_2, z_3 \dots z_j\} \in Q. \quad (13)$$

Во вторую группу V включить программы, модули, задачи сервисного и вспомогательного характера, отказ которых снижает коэффициент готовности контура S_i , но не приводит к его отказу:

$$\{p_1, p_2, p_3 \dots p_v\}, \{m_1, m_2, m_3 \dots m_v\}, \{z_1, z_2, z_3 \dots z_v\} \in V. \quad (14)$$

Исходя из этого, поправочный коэффициент вычисляется по формуле:

$$K_{П_{тек_i}} = K_{П_{тек_Q}} \cdot K_{П_{тек_V}}, \quad (15)$$

$$K_{\Pi_mek_Q} = \prod_q p_q \cdot m_q \cdot z_q, \quad (16)$$

$$K_{\Pi_mek_V} = \frac{N_V}{N_{V_общ}}, \quad (17)$$

где $p_q \cdot m_q \cdot z_q$ – состояние программ, модулей и задач группы Q ;

N_V – количество программ, модулей и задач группы V , определенных системой внутреннего диагностирования как исправные;

$N_{V_общ}$ – общее количество программ, модулей и задач, входящих в группу V .

При исправной работе $p = 1$, $m = 1$ и $z = 1$. При отказе одного из программных продуктов соответствующий признак состояния становится равным 0.

Вероятность безотказной работы ТС в течение интервала времени (t_1, t_2) определяется из выражения:

$$P_T(t_1, t_2) = e^{-\frac{\Delta t}{T_o}}, \quad (18)$$

где $\Delta t = t_2 - t_1$ – интервал времени безотказной работы ТС;

T_o – средняя наработка на отказ ТС контура S_T .

Вероятность безотказной работы ПС в течение интервала времени (t_1, t_2) определяется из выражения:

$$P_{\Pi}(t_1, t_2) = e^{-\left(1 - \frac{\sum_i^Z N_{выз_i} - \sum_i^Z N_{сб_i}}{\sum_i^Z N_{выз_i}}\right)}, \quad (19)$$

где $N_{выз_i}$ – количество вызовов i -й задачи;

$N_{сб_i}$ – количество вызовов с аварийным завершением в интервале времени Δt ;

Z – количество задач, решаемых в контуре S_T .

Вероятность того, что для решения функциональных задач контура S_T на момент времени $t + \Delta t$ окажется достаточно свободных ресурсов зависит в свою очередь от степени загрузки центральных устройств:

$$P_{pec} = P_{pec_цп}(t + \Delta t) \times P_{pec_оп}(t + \Delta t) \cdot P_{pec_жд}(t + \Delta t). \quad (20)$$

где $P_{pec_цп}(t + \Delta t)$ – вероятность достаточности ресурсов центрального процессора (ЦП);

$P_{pec_оп}(t + \Delta t)$ – вероятность достаточности ресурсов оперативной памяти (ОП);

$P_{pec_жд}(t + \Delta t)$ – вероятность достаточности ресурсов жесткого диска (ЖД).

Вероятность достаточности ресурсов на момент $t + \Delta t$ любого устройства определяется из условия:

$$P_{pec_xx}(t + \Delta t) = \begin{cases} 1, & \text{если } R_{pec_xx}(t + \Delta t) \geq R_{pec_xx}^{mp}, \\ 0, & \text{если } R_{pec_xx}(t + \Delta t) < R_{pec_xx}^{mp}, \end{cases} \quad (21)$$

где $R_{pec_xx}(t + \Delta t)$ – количество свободных ресурсов ЦП, ОП, ЖД;

$R_{pec_xx}^{mp}$ – требуемое количество свободных ресурсов ЦП, ОП, ЖД.

Исходными данными для оценки степени загрузки центральных устройств (ЦП, ОП, ЖД) на время $t + \Delta t$ являются статистические данные об их загрузке, поступающие от системы контроля и диагностирования в течение предыдущего периода.

Эта задача относится к задачам прогнозирования и может быть решена методом экспоненциального сглаживания [6]. Метод экспоненциального сглаживания позволяет давать несмещенную оценку как для почти стационарных процессов, так и для участков линейного и полиномиального роста. Данная модель предложена впервые Р. Брауном и использует для прогноза рекуррентную формулу:

$$R_{pec_xx}(t + \Delta t_i) = y(t + \Delta t_i) = q_{0_t} + q_{1_t}, \quad (22)$$

где q_{0_t} и q_{1_t} – коэффициенты модели экспоненциального сглаживания;

$y(t + \Delta t)$ – прогнозируемая загрузка ресурса на время $t + \Delta t$.

Рекуррентные соотношения для коэффициентов q_{0_t} и q_{1_t} можно представить в следующем виде:

$$q_{0_t} = y_t + \beta^2 \cdot (\hat{y}_t - y_t), \quad (23)$$

$$q_{1_t} = q_{1_{(t-1)}} - \alpha^2 \cdot (\hat{y}_t - y_t), \quad (24)$$

где $q_{1_{(t-1)}}$ – значение коэффициента q_1 на момент $t - 1$;

y_t – измеренное значение загрузки ресурса на время t ;

$\hat{y}_t = q_{0_{(t-1)}} + q_{1_{(t-1)}}$ – вычисленное значение загрузки ресурса на время t ;

$(\hat{y}_t - y_t)$ – ошибка прогноза;

α – постоянная сглаживания;

$\beta = 1 - \alpha$ – коэффициент.

Постоянная сглаживания α выбирается в интервале от 0 до 1 из расчета:

- $\alpha = 1$ означает, что мы абсолютно не доверяем прошлой информации и прогноз на время $t + \Delta t_i$ ведем от последней точки замера t ;

- при $\alpha = 0$ загрузка ресурса настолько стабильна, что для прогноза необязательно использовать новую информацию.

В качестве начального значения $q_{1_{(t-1)}}$ для выражения (24) выбираем арифметическое среднее последних $m = 10$ измерений загрузки ресурса

$$q_{1_исх} = \frac{\sum_{i=1}^m y_{t-i}}{m}. \quad (25)$$

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ МЕТОДИКИ

Информацию о текущем состоянии ТС (ПС), а также их статистические данные за период времени эксплуатации (квартал, год, с начала эксплуатации) получают от системы контроля и диагностирования. На рисунке 4 представлены результаты контроля и диагностики состояния системных ресурсов ТС в виде графиков. При необходимости результаты контроля можно представить в виде таблицы.

Информация о состоянии ПТК отображается в виде столбиковой диаграммы коэффициентов оперативной

готовности контуров K_{ozS_l} и коэффициентов готовности ТС (ПС) (рис. 5).

При необходимости можно получить дополнительную информацию по каждому ТС или ПС, просмотреть статистику их состояния за период времени эксплуатации.

Кроме того, при запуске оператором очередной задачи ему выдается уведомление о вероятности безотказного завершения работы программного комплекса (задачи).

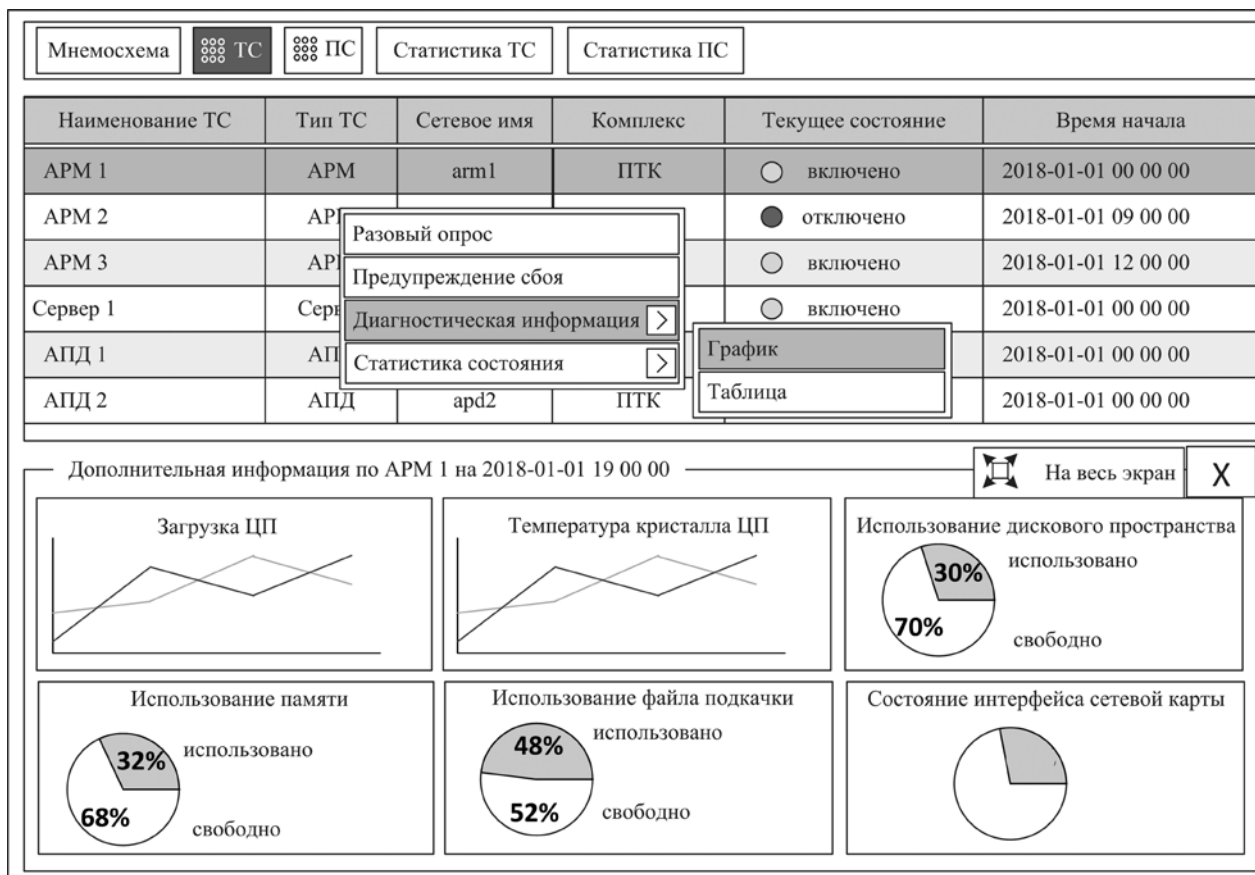
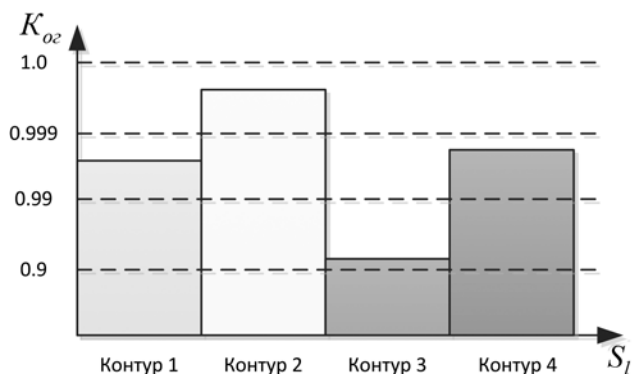
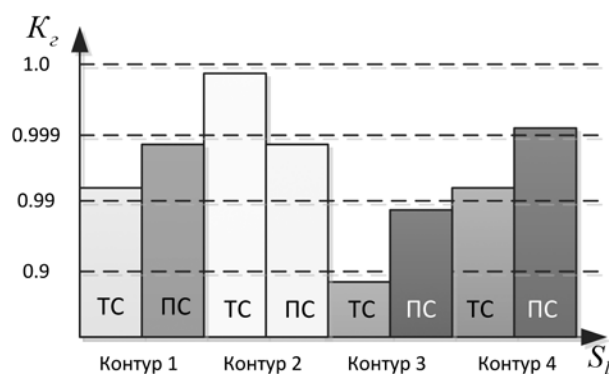


Рис. 4. Результаты контроля системных ресурсов ТС



а) коэффициент оперативной готовности контуров ПТК



б) коэффициент готовности ТС (ПС) контуров ПТК

Рис. 5. Диаграммы состояния ПТК

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе проведен анализ методов контроля состояния ПТК, основанных на интегральной оценке надежности, в результате которого были выявлены причины, не позволяющие адекватно судить о готовности сложных, многофункциональных комплексов к решению функциональных задач.

Декомпозиция комплекса на совокупность функциональных контуров дает возможность проведения оценки его надежности по функциональному принципу. Оценка функционального контура как виртуальной общности программных и технических компонент ПТК, обеспечивающих выполнение функций (задач) определенного класса, в части надежности, будет востребована с целью предотвращения отказов и минимизации их влияния на качество функционирования ПТК.

Авторами разработана методика оценки готовности ПТК к решению функциональных задач, учитывающая как текущее состояние технических и программных компонент ПТК, так и статистические данные за любой промежуток времени. Данная методика позволит пользователям не только определить готовность ПТК к решению функциональных задач, но и убедиться в том, что комплекс сохранит работоспособное состояние в течение всего времени, отводимого на решение задачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ябных Г.Ф., Столяров Б.А. Оптимизация информационно-вычислительных сетей. – М. : Радио и связь, 1987. – 232 с.
2. Надежность и эффективность АСУ / Ю.Г. Заренин, М.Д. Збырко [и др.] ; под ред. Ю.Г. Заренина. – Киев : «Техника», 1975. – 368 с.
3. Сотников А.А., Якупов Ш.З. Методика автономного функционального контроля технического состояния вычислительных систем гидролокационных комплексов // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электронный журнал. – 2014. – № 10. – С. 244–266. – URL: <http://technomag.edu.ru/jour/article/view/705/707>.
4. Пятаков А.И., Шабынина Е.А. Об одном подходе к расчету надежности программно-технического комплекса // Автоматизация процессов управления. – 2009. – № 3 (17). – С. 29–32.

5. 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.

6. Чув Ю.В., Михайлов Ю.Б., Кузмин В.И. Прогнозирование количественных характеристик процессов. – М. : «Сов. радио», 1975. – 400 с.

REFERENCES

1. Iabnykh G.F., Stoliarov B.A. *Optimizatsiia informatsionno-vychislitelnykh setei* [Optimization of Information Computer Networks]. Moscow, Radio i sviaz Publ., 1987. 232 p.
2. Zarenin Iu.G., Zbyrko M.D. et al. *Nadezhnost i effektivnost ASU. Pod red. Iu.G. Zarenina* [Reliability and Effectiveness of Computer-Aided Control Systems. Edited by Iu.G. Zarenin]. Kiev, Tekhnika Publ., 1975. 368 p.
3. Sotnikov A.A., Yakupov Sh.Z. Metodika avtonomnogo funktsionalnogo kontrolya tekhnicheskogo sostoiianiia vychislitelnykh sistem gidrolokatsionnykh kompleksov [The Method of a Standalone Functional Verifying Operability of Sonar Control Systems]. *Nauka i obrazovanie. MGTU im. N.E. Baumana. Elektronnyi zhurnal* [Science and Education. Scientific Edition of Bauman MSTU], 2014, no. 10, pp. 244–266. Available at: <http://technomag.edu.ru/jour/article/view/705/707>.
4. Piatakov A.I., Shabynina E.A. Ob odnom podkhode k raschetu nadezhnosti programmno-tekhnicheskogo kompleksa [About an Approach to Reliability Calculation of Software and Hardware Systems]. *Avtomatizatsiia protsessov upravleniia* [Automation of Control Processes], 2009, no. 3 (17), pp. 29–32.
5. Egorov Iu.P., Piatakov A.I., Egorov D.P. Obespechenie nadezhnosti integrirovannykh avtomatizirovannykh sistem spetsialnogo naznacheniiia na etapakh proektirovaniia [Providing Reliability of Special-Purposes Integrated Automated Systems in Design Stages]. *Avtomatizatsiia protsessov upravlenia* [Automation of Control Processes], 2017, no. 4 (50), pp. 5–13.
6. Chuev Iu.V., Mikhailov Iu.B., Kuzmin V.I. *Prognozirovanie kolichestvennykh kharakteristik protsessov* [Forecasting of Quantitative Process Characteristics]. Moscow, Sov. radio Publ., 1975. 400 p.