

Гузенко В.Л., Миронов Е.А., Шестопалова О.Л. Моделирование процессов технического обслуживания и ремонта технических средств распределенной информационной системы [Электронный ресурс] // Информационно-экономические аспекты стандартизации и технического регулирования: Научный интернет-журнал. 2014. – № 6(22). Режим доступа http://iea.gostinfo.ru/files/2014_06/2014_06_11.pdf

УДК 004.942+519.718

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Гузенко В.Л., кандидат технических наук, профессор, ФГОУ ВПО «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского».

Миронов Е.А., кандидат технических наук, доцент, ФГОУ ВПО «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского».

Шестопалова О.Л., кандидат технических наук, доцент, декан Байконурского филиала «Московского авиационного института (национального исследовательского университета)».

В статье рассмотрены вопросы моделирования процессов технического обслуживания и ремонта технических средств распределенной информационной системы. Модель основана на совместном представлении обслуживаемой системы (распределенной информационной системы) и её системы технической эксплуатации в виде замкнутой неоднородной сети массового обслуживания. Изложенные результаты могут быть полезны для развития методического обеспечения технического регулирования при оценке и подтверждении соответствия информационных систем на стадиях проектирования и эксплуатации.

Ключевые слова: техническое регулирование, система эксплуатации, распределенная информационная система, система массового обслуживания, модель функционирования.

UDC 004.942+519.718

MAINTENANCE AND REPAIR PROCESS MODELING FOR THE TECHICAL EQUIPMENT OF THE DISTRIBUTED INFORMATION SYSTEM

Guzenko V.L., candidate of technical sciences, professor, Mozhaisky Military Space Academy, e-mail: VLG55@yandex.ru.

Mironov E.A., candidate of technical sciences, associate professor, Mozhaisky Military Space Academy, e-mail: john682@mail.ru.

Shestopalova O.L., candidate of technical sciences, associate professor, the dean of the Baikonur Branch of the Moscow aviation institute (national research university), e-mail: neman2004@mail.ru.

The article deals with the modeling of processes of maintenance and repair of technical means of distributed information system. The model is based on a joint submission served by the system (distributed information system) and its technical operation of the system as a closed queuing network inhomogeneous. The results presented here may be useful for the development of methodological support in the evaluation of the technical regulation and conformity assessment of information systems at the stages of design and operation.

Keywords: technical regulation, operation system, distributed information system, queuing system, model of functioning.

Обеспечение надёжности прикладных распределённых информационных систем (ПРИС) с учётом существующих ресурсных ограничений является актуальной задачей, решение которой требует анализа системы технической эксплуатации ПРИС на всех этапах жизненного цикла систем. В настоящий момент необходимость решения подобных задач возникает при эксплуатации систем за пределами назначенных показателей технического ресурса, при замене и модернизации элементов функционирующих ПРИС, т.е. на этапах жизненного цикла, сопровождаемых заметным изменением технического состояния системы [4, 5-10]. Для решения подобных задач требуется разработать методы синтеза системы технической эксплуатации (СТЭ) ПРИС, определить значения параметров СТЭ. Синтез СТЭ подразумевает описание и сравнение вариантов организации эксплуатации, что требует разработки математической модели функционирования СТЭ ПРИС.

Для решения поставленной задачи введем ряд обозначений. Зададим некоторым множеством $D = \{d_i\}$, $i = \overline{1, I}$ структуру распределенной системы. В общем случае, работоспособное состояние ПРИС обеспечивается подмножествами элементов $D_j \subset D$, ($j = \overline{1, J}$), J – количество таких подмножеств.

Событие, состоящее в том, что любое подмножество $D_j \subset D$ ($j = \overline{1, J}$), элементы которого обеспечивают заданное множество функций, будет находиться в работоспособном состоянии в определённый момент времени, определяет успешность функционирования ПРИС по назначению.

Пусть система состоит из множества элементов D . Определим функцию работоспособности ПРИС в виде логической функции:

$$\varphi_{D_j}(x_*) = \bigvee_{i|d_i \in D_j} x_i,$$

где x_* – множество состояний ПРИС, D_j – множество элементов, необходимых для обеспечения выполнения целевой функции системы.

$$\varphi_{D_j}(x_*) = \begin{cases} 1, & \text{если система работоспособна,} \\ 0, & \text{если система не работоспособна.} \end{cases}$$

Вследствие того, что наборов работоспособных элементов, которые обеспечивают работоспособность ПРИС, может быть несколько, выразим функцию работоспособности с помощью преобразования к дизъюнктивной нормальной форме (ДНФ) (система состоит из множества элементов D_j):

$$\Phi_D(x_*) = \bigvee_{j=1}^J \varphi_{D_j}(x_*) = \bigvee_{j=1}^J \bigwedge_{i|d_i \in D_j} x_i.$$

В случае, если хотя бы одно из подмножеств элементов, обеспечивающих работоспособность ПРИС, входит в множество D , функция работоспособности примет вид $\Phi_D(x_*) = 1$.

На практике, эксплуатация, как правило, обеспечивается двух- или трёхуровневой структурой СТЭ. Рассмотрим случай использования двухуровневой структуры.

Количество элементов системы обозначим K , количество типов средств, используемых в составе элементов системы – R . Типы средств различаются по элементной базе, параметрам надёжности и целевым

функциям. При этом количество средств r типа, $r = \overline{1, R}$, на элементе n обозначим как h_r^n (H – общее число средств).

В случае, если для конкретного элемента системы используется резервирование, т.е. элемент замены, необходимый для ремонта, имеется в комплекте запасного имущества и принадлежностей (ЗИП), поиск неисправности и её устранение производится персоналом, эксплуатирующим данную систему.

Восстановление неисправного элемента (блока, узла) производится силами специализированного ремонтного органа обезличенным методом ремонта. В случае, если силами эксплуатирующего персонала нахождение и устранение неисправности невозможно, либо необходимый элемент замены отсутствует в ЗИП, работоспособность средства восстанавливается силами этого же ремонтного органа.

Для формализации процессов взаимодействия описанных средств, подлежащих обслуживанию, и системы восстановления и поддержания работоспособности СТЭ ПРИС используем математический аппарат теории массового обслуживания [2].

Представим СТЭ и обслуживаемую распределенную систему сбора и обработки информации как замкнутую неоднородную сеть массового обслуживания из $K = R + M$ элементов, каждый из которых является системой массового обслуживания (СМО). Описание процессов возникновения ремонтных заявок выполняется СМО $_k$ ($k = \overline{1, R}$), имитация процессов удовлетворения заявок ремонтным органом – остальными M СМО. Обслуживание каждого из подмножеств системы происходит силами бригад, входящих в один из ремонтных органов. При этом некоторые элементы системы в общем случае могут быть обслужены несколькими ремонтными органами, т.е. указанные подмножества могут пересекаться.

Для определения движения заявок и распределения областей обслуживания используем маршрутную матрицу $P = p_{lg}$ ($l, g = \overline{1, K}$), p_{lg} –

вероятность прохождения заявки на ремонт из СМО_l в СМО_g, $\sum_{g=1}^k p_{lg} = 1$
 ($l = \overline{1, K}$).

Матрица определения состояния сети:

$$n_{**}^{(R)} = (n_{1*}^{(R)}, \dots, n_{m*}^{(R)}, \dots, n_{K*}^{(R)}),$$

где
$$n_{m*}^{(R)} = (n_{m1}, \dots, n_{mR}, \dots, n_{mM}),$$

а n_{mr} – количество находящихся в СМО_m заявок класса r ,. Определим вероятность $P(n_{**}^{(R)})$ нахождения сети массового обслуживания в состоянии $n_{**}^{(R)}$ (стационарный режим) [1]:

$$P(n_{**}^{(R)}) = G^{-1} \prod_{k=1}^K f_k(n_{k*}),$$

где $G = \sum_{\psi} \prod_{k=1}^K f_k(n_{k*})$ – нормализующая константа,

ψ – множество всех состояний сети массового обслуживания.

В зависимости от характеристик потока заявок, а также от дисциплины обслуживания определяется вид функции $f_k(n_{k*})$. В случае, если число обслуживающих приборов больше общего количества заявок на ремонт (СМО типа IS) допускается произвольное распределение наработки на отказ [3]. Таким типом СМО могут быть описаны системы без резервирования и подсистемы с нагруженным резервом. При количестве обслуживающих приборов, равном количеству функционирующих элементов (СМО типа FCFS - обслуживание требований в порядке поступления) могут быть описаны подсистемы с комбинированным или ненагруженным резервированием элементов.

Допускается распределение наработки на отказ экспоненциального вида. Функция $f_k(n_{k*})$ [1]:

$$f_k(n_{k^*}) = \begin{cases} \prod_{r=1}^R \frac{1}{n_{kr}!} \left(\frac{e_{kr}}{\lambda_{kr}} \right)^{n_{kr}} & \text{— для СМО типа IS,} \\ \frac{n_k!}{\lambda_{kr}^{n_{kr}}} \prod_{r=1}^R \frac{e_{kr}^{n_{kr}}}{n_{kr}} & \text{— для СМО типа FCFS,} \end{cases}$$

где e_{kr} определяется системой линейных уравнений

$$e_{kr} = P_{(0,k)r} + \sum_i e_{ir} P_{(i,k)r}, \quad k = \overline{1, K}; \quad r = \overline{1, R}, \quad (1)$$

а $P_{(l,k)r}$ – вероятность перехода заявки класса r из СМО_l; в СМО_k.

Средняя интенсивность отказов на интервале T (между периодическими плановыми техническими обслуживаниями) для средств типа r :

$$\lambda = \frac{1}{T} \int_0^T \lambda(t) dt = -\frac{1}{T} \ln \bar{F}(T), \quad (2)$$

где $\bar{F}(T)$ – вероятность безотказной работы.

Использование закона Эрланга для описания распределения наработки на отказ, как правило, достаточно адекватно для применения к реальным процессам отказов различных типов аппаратуры:

$$F(t) = 1 - e^{-\alpha t} \sum_{k=0}^{n-1} \frac{(\alpha t)^k}{k!},$$

ИНТЕНСИВНОСТЬ ОТКАЗОВ:

$$\lambda(t) = \alpha (\alpha t)^{n-1} \left[(n-1)! \sum_{k=0}^{n-1} \frac{(\alpha t)^k}{k!} \right]^{-1}.$$

Определим среднюю интенсивность $\lambda_{cp}(T)$ на интервале T между ТО с учётом (1) и (2):

$$\lambda_{cp}(T) = -\frac{1}{T} \ln \left[e^{-\alpha T} \sum_{k=0}^{n-1} \frac{(\alpha T)^k}{k!} \right] = \alpha - \frac{1}{T} \ln \sum_{k=0}^{n-1} \frac{(\alpha T)^k}{k!}.$$

Дисциплины FCFS, LCFS, RAND применимы для обслуживания заявок в СМО_k (k = R + 1, K). При экспоненциальном распределении времени обслуживания – СМО с дисциплиной FCFS, при произвольном распределении с рациональными преобразованиями Лапласа и средними μ_{kr}^{-1} - LCFS и RAND. $f_k(n_{k*})$ при этом [1]:

$$f_k(n_{k*}) = n_k! \prod_{r=1}^R \left(\frac{e_{kr}}{\mu_{kr}} \right)^{n_{kr}} \frac{1}{n_{kr}!}.$$

Вероятность нахождения любой совокупности средств в произвольный момент времени в определённом состоянии (к примеру, в состоянии неработоспособности), определяется суммой вероятностей нахождения СМО во множестве всех состояний, в которых выполняется данное условие. В случае, если известны стационарные вероятности нахождения СМО в любом возможном состоянии появляется возможность рассчитать показатели готовности и временные показатели как для совокупности, так и для отдельных средств.

Рассмотрим случай трёхуровневой структуры. При возникновении отказа производится локализация неисправности и замена неисправного элемента на работоспособный из комплекта ЗИП силами эксплуатирующего персонала (уровень 1). Мелкие и средние неисправности устраняются ремонтным органом, куда направляется отказавший элемент (уровень 2). При успешном устранении неисправности элемент возвращается либо туда же, откуда он поступил, либо к другому аналогичному средству в зависимости от потребности. В случае такой неисправности, которую невозможно устранить в данном ремонтном органе (отсутствует ЗИП, необходимый для устранения отказа), работы по восстановлению элемента выполняются силами специализированной ремонтной организации (уровень 3).

Иными словами, при успешном выполнении ремонта органом второго уровня, восстановленный элемент возвращается с вероятностью p_1 в систему,

в противном случае элемент направляется в специализированную ремонтную организацию с вероятностью $p_2 = 1 - p_1$.

В сеть массового обслуживания в данном случае входят $K = R + M_1 + M_2$ СМО:

СМО_{*r*} ($r = \overline{1, R}$) – описание процессов наработки на отказ средств;

СМО_{*m*₁} ($m_1 = R + 1, R + M_1$) – имитация процессов функционирования органов ремонта 2-го уровня;

СМО_{*m*₂} ($m_2 = R + M_1 + 1, K$) – имитация процессов функционирования специализированных организаций по ремонту элементов систем.

Таким образом, в данной статье рассмотрен вопрос разработки математической модели функционирования СТЭ распределенных информационных систем сбора и обработки информации. Основой модели является совместное представление обслуживаемых распределенных систем сбора и обработки информации и их СТЭ в виде замкнутой неоднородной сети массового обслуживания.

Сеть массового обслуживания состоит из СМО двух типов. СМО первого типа моделируют процесс возникновения заявок на ремонт, СМО второго типа моделируют процессы функционирования ремонтных органов по удовлетворению полученных заявок. При известной стационарной вероятности нахождения сети массового обслуживания в любом возможном состоянии даёт возможность применить логико-вероятностные методы и рассчитать показатели готовности и временные показатели как для совокупности средств, так и для отдельных элементов ПРИС.

Показатель надёжности представлен в виде суммы вероятностей нахождения сети массового обслуживания во множестве состояний, в которых условие работоспособности выполняется для обслуживаемой ПРИС.

Представлены варианты двух- и трёхуровневой структуры СТЭ («обслуживающий персонал - ремонтный орган» и «обслуживающий персонал - ремонтный орган - специализированная ремонтная организация»

Список использованных источников и литературы

1. Гнеденко Б.В., Коваленко И.Н. Введение в теорию массового обслуживания, 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука. Гл. ред. физ. мат. лит. 1987.
2. Жожикашвили В.А., Вишневский В.Л. Сети массового обслуживания. Теория и применение к сетям ЭВМ. – М.: Радио и связь. 1989.
3. Ивченко Г.И., Каштанов В.А., Коваленко И.Н. Теория массового обслуживания / Учебное пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1982. – 256 с.
4. Шестопалова, О.Л. Моделирование процесса функционирования системы технической эксплуатации распределенной системы сбора и обработки информации/ А.Н.Миронов, В.Л.Гузенко, А.В.Клёпов, О.Л. Шестопалова// Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 2; URL: www.science-education.ru/116-12362
5. Ломакин М. И., Миронов А. Н., Шестопалова О. Л. Многомодельная обработка измерительной информации в интеллектуальных системах прогнозирования надежности космических средств // Измерительная техника. 2014. №1. С.8-13.
6. Korovaitsev A.A., Lomakin M.I., Dokukin A.V. Evaluation of metrological reliability of measuring instruments under the conditions of incomplete data // Measurement Techniques. 2014. T. 56. № 10. С. 1111-1116 .
7. Коровайцев А.А., Ломакин М.И., Докукин А.И. Оценка метрологической надежности средств измерений в условиях неполных данных // Измерительная техника. 2013. № 10. С.14-17.
8. Lomakin M.I., Mironov A.N. Shestopalova O.I. Multimodel Processing of Measurement Data in Intelligent Systems for Predicting the Reliability of Spaceborne Equipment // Measurement Techniques. 2014. T. 57, № 1. С. 8-15.
9. Ломакин М.И. Гарантированные оценки вероятности безотказной работы в классе распределений с фиксированными моментами // Автоматика и телемеханика. 1991. № 1. С.154–161.
10. Lomakin M.I. Guaranteed bounds on failfree operation probability in the class of distributions with fixed moments // Автоматика и телемеханика. 1991. № 1. С 154-161.

© Гузенко В.Л.,
© Миронов Е.А.,
© Шестопалова О.Л.