

Шестопалова О.Л. Оценивание показателей готовности обслуживаемых распределенных информационных систем [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\\_12.pdf](http://iea.gostinfo.ru/files/2014_06/2014_06_12.pdf)

УДК 004.942+685.518.5

## **ОЦЕНИВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГОТОВНОСТИ ОБСЛУЖИВАЕМЫХ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

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

*В статье рассмотрены вопросы построения моделей оценивания показателей готовности обслуживаемых распределенных информационных систем. За основу принято представление системы технической эксплуатации информационной системы как системы 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, информационные системы, коэффициент готовности, система массового обслуживания.

UDC 004.942+685.518.5

## **AVAILABILITY INDICATORS EVALUATION OF THE MAINTAINABLE TERRITORIALLY DISTRIBUTED INFORMATION SYSTEM**

**Shestopalova O.L.**, candidate of technical sciences, associate professor, the dean of the Baikonur Branch of the Moscow aviation institute (national research university).

*The article deals with the modeling of availability functions of the maintainable territorially distributed information system. Taken as a basis for representation of the information system as a queuing system. The results presented here may be useful for the development of methodological support of the technical regulation in the evaluation and demonstration of compliance during the design and operation.*

**Keywords:** technical regulation, information systems, availability function, queuing system.

В настоящий момент задача обеспечения требуемого уровня надёжности территориально распределённых обслуживаемых информационных систем (ТРОИС) является крайне актуальной и требует совершенствования системы и технологий эксплуатации. Построение математических моделей оценивания показателей надёжности функционирования систем требует учёта фактических характеристик и возможностей системы обслуживания [3, 4-9] и фактического технического состояния элементов системы. Одной из ключевых характеристик ТРОИС является готовность (элементов, информационных направлений, системы в целом). Коэффициент готовности является основным показателем готовности и определяется вероятностью того, что в любой произвольный момент времени объект будет находиться в работоспособном состоянии, за исключением временных интервалов простоя объекта (или некоторой его части), обусловленных технологическим графиком применения по назначению. Оценка показателей готовности рассматриваемых объектов требует разработки соответствующего научно-методического обеспечения.

Сформулируем следующие задачи моделирования функционирования системы технической эксплуатации (СТЭ) [1]:

- перечисление состава и типов элементов системы, представление рассматриваемой системы в виде графа;
- расчёт интенсивности потоков заявок на обслуживание с учётом плановых работ по восстановлению и поддержанию работоспособности элементов системы и интенсивностей их отказов;
- описание распределения элементов системы, контролируемых органами СТЭ, с детальным представлением состава и структуры обслуживающих (ремонтных) подразделений;

- определение зависимости средних интенсивностей обслуживания заявок от алгоритмов функционирования органов, проводящих техническое обслуживание;
- формирование функции работоспособности рассматриваемой ТРОИС;
- получение вероятностной функции на основе функции работоспособности для каждого элемента системы;
- выделение зависимых через общие системы обслуживания сочетаний состояний элементов ТРОИС, расчет для зависимых групп элементов стационарных вероятностей состояний с помощью элементов теории массового обслуживания;
- расчёт для ТРОИС и входящих в неё подсистем требуемых значений показателей и коэффициентов готовности;
- оценка среднего времени восстановления работоспособного состояния элемента ТРОИС.

Ниже приведена характеристика способов решения поставленных задач и полученных результатов.

Введем  $E$  – количество основных и резервных элементов оборудования ТРОИС. Основные элементы определенного типа, обеспечивающие работоспособность ТРОИС, обозначим  $E_0$ . При введении общего числа элементов, находящихся в нагруженном режиме ( $E_H$ ), получим четыре структурных типа систем:  $E = E_H = E_0$  – резервирование отсутствует;  $E > E_H = E_0$  – с ненагруженным резервом;  $E = E_H > E_0$  – с нагруженным резервом;  $E > E_H > E_0$  – с нагруженным и ненагруженным, т.е. с комбинированным резервом.

Используя имитационное моделирование, либо по результатам опытной эксплуатации ТРОИС возможно определить интенсивности потоков заявок на обслуживание и требуемую периодичность плановых мероприятий

по восстановлению и поддержанию работоспособности системы (учитывая интенсивности отказов  $E$ ) [2].

Для корректного описания состава и структуры обслуживающих органов и распределения технических средств, подлежащих обслуживанию конкретными органами СТЭ, введем следующие допущения.

Введем множество  $x_m \leq x^*$ , элементами которого являются технические средства, обслуживаемые  $m$ -м органом ( $m = \overline{1, M}$ ). Случай, при котором  $x_m = x^*$  возможен при полностью централизованной системе обслуживания, когда все элементы ТРОИС силами единственного центра обслуживания, или в случае, когда все системы могут быть обслужены из любого центра СТЭ.

Средние интенсивности обслуживания заявок (без учета времени, когда элемент находится в очереди на обслуживание) определяются в зависимости от алгоритмов функционирования органов СТЭ. Зависимость интенсивности обслуживания от количества заявок  $k_m$  определяет наличие  $p_m$  каналов обслуживания в  $m$ -м обслуживающем органе:

$$\mu_m = \begin{cases} k_m \mu_3, & \text{если } k_m \leq p_m; \\ p_m \mu_3, & \text{если } k_m > p_m. \end{cases} \quad (1)$$

где  $\mu_3$  - интенсивность обслуживания заявок при одном канале обслуживания.  $\mu_3$  оценивается на основе алгоритма, представленного в [2]. В случае, при обслуживании с помощью выездных бригад:

$$\mu_3 = \left( 2\bar{T}_{\text{пр}} + \frac{1}{\mu_M} \right)^{-1}, \quad (2)$$

где  $\bar{T}_{\text{пр}}$  - среднее время передвижения;  $\frac{1}{\mu_M}$  - среднее время выполнения

работ. В случае автономного функционирования бригады:

$$\mu_3 = \left( \bar{T}_{\text{пр}} + \frac{1}{\mu_M} \right)^{-1}, \quad (3)$$

где  $\bar{T}_{\text{пр}}$  - среднее время перемещения по всем маршрутам.

В том случае, когда бригады не затрачивают времени на передвижения, (то есть требующие обслуживания средства доставляются непосредственно в центр обслуживания) имеем  $\mu_3 \equiv \mu_m$ .

Функцию работоспособности системы можно записать в общем случае в дизъюнктивной нормальной форме, с учетом заданных критериев работоспособности ТРОИС:

$$\Phi_D(x_*) = \bigvee_{j=1}^J \varphi_{D_j}(x_*) = \bigvee_{j=1}^J \bigwedge_{d_i \in D_j} x_i, \text{ где } d_i \in D - \text{ элемент системы, } i = \overline{1, I}.$$

Вероятностная функция формируется с помощью одного из известных алгоритмов [1] в форме разделённых произведений для каждой функции работоспособности.

Расчёт стационарных вероятностей для групп зависимых по обслуживанию элементов системы (как и выделение сочетаний состояний таких групп) выполняется с помощью элементов теории массового обслуживания. Принимая во внимание (1) – (3), и с учётом

$$P(n_{**}^{(R)}) = G^{-1} \prod_{k=1}^K f_k(n_{k*}) \quad (4)$$

возможно рассчитать стационарные вероятности состояний сети массового обслуживания. В этом случае с помощью системы массового обслуживания (СМО) типа IS (при количестве обслуживающих приборов большем или равным суммарному числу заявок) можно описать подсистемы с нагруженным резервом, а также подсистемы, состоящие из элементов без резервирования. При комбинированном или ненагруженном резерве СМО можно описать дисциплиной FCFS («первый приходит – первый обслуживается»). При этом делается допущение о том, что число обслуживающих приборов равно числу элементов.

Дисциплина FCFSPR («первым пришёл – первым обслуживается с абсолютным приоритетом и дообслуживанием в случае прерывания») наиболее подходит для описания процессов функционирования ремонтных

органов. При этом целесообразно использовать имитационное моделирование. По уровню критичности отказа (по последствиям, влияющим на функционирование системы и конкретного обслуживаемого средства) можно определить приоритеты заявок.

Выполним расчёт показателей готовности отдельных подсистем ТРОИС и системы в целом. Через стационарные вероятности состояний системы массового обслуживания (4) для группы элементов с зависимыми состояниями определим в произвольный момент времени вероятность того, что число работоспособных технических средств окажется не менее предельно допустимого  $P_{n \geq n_{\text{доп}}}$ :

$$P_{n \geq n_{\text{доп}}} = \sum_{\psi_{n \geq n_{\text{доп}}}} P(n_{**}^{(R)}).$$

$P_{n \geq n_{\text{доп}}}$  определяется как сумма вероятностей нахождения СМО во всех состояниях  $\psi$ , при которых выполняется условие  $n \geq n_{\text{доп}}$ .

Оценку коэффициента готовности для направления передачи информации  $K_{\Gamma_{\Phi_n}}$  для подсистем с сетевой структурой можно получить с помощью выражения:

$$K_{\Gamma_{st}} = \sum_{l=1}^d \prod_{i \in G_l} K_l^i - \sum_{l=1}^{d-1} \sum_{m=l+1}^d \prod_{i \in G_{lm}} K_{lm}^i + \sum_{l=1}^{d-2} \sum_{m=l+1}^{d-1} \sum_{n=m+1}^d \prod_{i \in G_{lmn}} K_{lmn}^i - \dots + (-1)^{d-1} \prod_{i \in G_{12\dots d}} K_{12\dots d}^i,$$

где  $d$  – количество простых путей в информационном направлении  $s - t$ ;

$G_{lmn}$  – множество индексов обслуживающих органов для средств, использующих  $l$ -й,  $m$ -й,  $n$ -й пути;

$K_{lmn}^i$  – коэффициент готовности средств, задействованных при формировании  $l$ -ого,  $m$ -ого,  $n$ -ого путей, обслуживаемых  $i$ -м органом обслуживания.

При известных значениях коэффициентов готовности элементов данного направления, выведем среднее время наработки на отказ направления передачи  $\bar{T}_{O_{st}}$  :

$$\bar{T}_{O_{st}} = K_{\Gamma_{st}} \left[ \sum_{i=1}^n \frac{K_{\Gamma_{st}}}{\bar{\tau}_{O_i}} \frac{\partial S(K_{\Gamma_{\text{э}}})}{\partial K_{\Gamma_{\text{э}i}}} \right]^{-1},$$

где  $\bar{\tau}_{O_i}$  – среднее время наработки на отказ для  $i$ -го элемента;  $K_{\Gamma_{\text{э}i}}$  – коэффициент готовности  $i$ -го элемента.

Так как итоговое время восстановления системы равно сумме времени ожидания обслуживания из-за отсутствия незанятых каналов обслуживания, и времени выполнения операций восстановления работоспособности, среднее время восстановления работоспособности для элемента  $\bar{\Theta}_{\text{вз}}$  можно определить по формуле:

$$\bar{\Theta}_{\text{вз}} = \frac{\bar{L}(H)}{\bar{\lambda}(H)},$$

где  $\bar{\lambda}(H)$  – средняя интенсивность суммарного потока заявок, входящих в СМО;

$\bar{L}(H)$  – среднее число элементов, находящихся в очереди на обслуживание в ремонтном органе;

$\bar{L}_j(H) = \sum_{h=1}^H h P_j(h)$ , где  $P_j(h)$  – вероятность нахождения  $h$  заявок в очереди в СМО.

Выполним расчёт коэффициентов готовности отдельных элементов системы. Если СТЭ состоит из двух уровней, то

$$K_{\Gamma_{(2)}} = \frac{\bar{\tau}_0}{\bar{\tau}_0 + \bar{\tau}_{\text{ТМ}} + p_{\text{Н}} \bar{\tau}_{\text{В1}} + (1 - p_{\text{Н}}) \bar{\tau}_{\text{В2}}}$$

где  $\bar{\tau}_{\text{В1}}$ ,  $\bar{\tau}_{\text{В2}}$  – среднее время восстановления работоспособности эксплуатирующим персоналом (первый уровень ППВР) и силами специализированной ремонтной организации (второй уровень) соответственно;

$p_H$  – вероятность наличия при отказе необходимого элемента замены в ЗИП (восстановление работоспособности возможно силами эксплуатирующего персонала);

$(1 - p_H)$  – вероятность отсутствия необходимого элемента в ЗИП (для восстановления работоспособности необходима специализированная ремонтная организация) [5].

Коэффициент готовности элемента при трёхуровневой структуре СТЭ:

$$K_{Г(3)} = \frac{\bar{\tau}_0}{\bar{\tau}_0 + \bar{\tau}_{ТМ} + p_{H1}\bar{\tau}_{B1} + (1 - p_H)[p_{H2}\bar{\tau}_{B2} + (1 - p_{H2})\bar{\tau}_{B3}]},$$

где  $\bar{\tau}_{B1}$ ,  $\bar{\tau}_{B2}$ ,  $\bar{\tau}_{B3}$  – оценки среднего времени восстановления работоспособности элемента на соответствующих уровнях СТЭ;  $p_{H1}$ ,  $p_{H2}$  – оценки вероятностей наличия необходимых для ремонта или замены элементов на первом и втором уровнях СТЭ соответственно.

Таким образом, в статье рассмотрены основные вопросы совершенствования научно-методического аппарата расчёта показателей готовности ТРОИС. Под готовностью ТРОИС понимается такое состояние системы, при котором возможно оперативное восстановление работоспособности в случае отказа любого элемента. Коэффициенты готовности вычисляются как вероятность нахождения системы (или некоторой ее части) в состоянии работоспособности в произвольно взятый момент времени, без учёта интервалов простоя системы, когда использование ТРОИС по назначению не предусмотрено. В статье приведены основные моменты разработки методики оценивания показателей готовности элементов ССОИ.

### Список использованных источников и литературы

1. Шестопалова, О.Л. Постановка задачи обеспечения технико-экономической эффективности эксплуатации распределенной информационной системы / В.Л. Гузенко, А.В. Клепов, Е.А. Миронов, О.Л. Шестопалова // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 2; URL: <http://www.science-education.ru/116-12361>.

2. Шестопалова, О.Л. Моделирование процесса функционирования системы технической эксплуатации территориально-распределенной информационной системы / В.Л. Гузенко, А.В. Клепов, А.Н. Миронов, О.Л. Шестопалова // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 2; URL: <http://www.science-education.ru/116-12362>.

3. Шестопалова, О.Л. Прогнозирование моральной долговечности распределенных информационных систем с учетом прогрессирующих ограничений на возможности восстановления ресурса элементной базы/ О.Л. Шестопалова // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6; URL: <http://www.science-education.ru/113-11078> (дата обращения: 11.12.2013).

4. 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.

5. 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 .

6. 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.

7. 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.

8. Ломакин М.И. Гарантированные оценки вероятности безотказной работы в классе распределений с фиксированными моментами // Автоматика и телемеханика. 1991. № 1. С.154–161.

9. 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.

© Шестопалова О.Л.