

УДК 004.942 + 621.391.8

МОДЕЛЬ ДЛЯ РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА СЕТИ СВЯЗИ

¹Витюк В.Л., ¹Гузенко В.Л., ¹Мионов Е.А., ²Севастьянов Д.А., ³Шестопалова О.Л.

¹ФГКВКУ ВПО «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского»,

Санкт-Петербург, e-mail: vka@mail.ru;

²ФГУП «Центр эксплуатации объектов наземной космической инфраструктуры», Москва;

³Филиал «Восход» ФГБОУ ВПО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Байконур

В статье рассматривается модель для расчета показателей качества функционирования системы технического обслуживания и ремонта сетей связи, построенная на основе аппарата открытых локально сбалансированных сетей массового обслуживания. Приводятся основные соотношения для расчета показателей готовности сети связи с учетом параметров системы технического обслуживания и ремонта, а также ряда объемно-временных показателей. Модель может быть использована для оптимизации структуры и алгоритмов функционирования систем технического обслуживания и ремонта структурно-сложных территориально-распределенных систем. Разработанная модель позволяет производить расчет ряда показателей качества функционирования системы технического обслуживания и ремонта сетей связи и может быть использована при решении задач оптимизации структуры и алгоритмов функционирования системы технического обслуживания и ремонта, при определении степени централизации системы технического обслуживания и ремонта, а также при расчете показателей надежности структурно-сложных восстанавливаемых систем.

Ключевые слова: система технического обслуживания и ремонта, сеть связи, центр технического обслуживания и ремонта, техническое обслуживание, система массового обслуживания

MODEL FOR CALCULATING PARAMETERS OF FUNCTIONING QUALITY OF REPAIR AND MAINTENANCE OF COMMUNICATIONS NETWORK

¹Vityuk V.L., ¹Guzenko V.L., ¹Mironov E.A., ²Sevastiyarov D.A., ³Shestopalova O.L.

¹Mozhaisky Military Space Academy, Sankt-Petersburg, e-mail: vka@mail.ru;

²FSUE «Center for exploitation of space infrastructure», Moscow;

³A Branch «Voskhod» of the Moscow aviation institute (national research university), Baikonur

In the article the model for calculating the indicators of quality of the system of maintenance and repair of communication networks, built on the basis of the device open locally balanced queuing networks. The basic parameters for the calculation of the ratio of network readiness within the parameters of the system maintenance and repair, as well as a number of space-time metrics. The model can be used to optimize the structure and algorithms of functioning of systems maintenance and repair of structurally complex geographically dispersed systemically. The developed model allows the calculation of a number of indicators of quality of the system of maintenance and repair of communications networks and can be used in problem solving and algorithms to optimize the structure of the system of maintenance and repair, in determining the degree of centralization of maintenance and repair, as well as in the calculation of reliability indices structurally complex to restore the system.

Keywords: system maintenance and repair, communication network, the center of maintenance and repair, maintenance, queuing system

Для обеспечения качественного функционирования сети связи создается система технического обслуживания и ремонта, представляющая собой, как правило, смешанную многоуровневую систему, в состав которой входят центры технического обслуживания и ремонта, осуществляющие управление техническим состоянием входящих в зону обслуживания данного центра средств. Эффективность выполнения системой связи возложенных на неё задач во многом определяется качеством функционирования системы технического обслуживания и ремонта.

Для обеспечения качественного функционирования сетей связи создается система тех-

нического обслуживания и ремонта (СТОР). При проектировании и построении СТОР необходимо учитывать ряд особенностей сети связи как объекта эксплуатации, таких как:

– территориальная рассредоточенность элементов сети;

– многофункциональность системы, реализация на основе первичной сети нескольких вторичных;

– взаимосвязь различных средств системы;

– разнотипность средств, различия их по эксплуатационным свойствам и надежности.

СТОР современных сетей связи строится, как правило, с использованием элементов централизованного и децентрализованного принципа построения и представляет

собой смешанную многоуровневую систему [1, 7]. При таком построении создаются центры технического обслуживания и ремонта (ЦТОР), на которые и возлагаются задачи по управлению техническим состоянием средств сети связи, входящих в данную зону обслуживания. Обслуживание средств при этом осуществляется либо выездными бригадами ЦТОР, либо доставкой нуждающихся в обслуживании средств в ЦТОР.

Очевидно, что качество функционирования сети связи в значительной мере будет определяться способом построения и функционирования СТОР, тем, насколько эффективно выполняет СТОР возложенные на неё задачи. Поэтому уровень требований к свойствам создаваемой СТОР может быть обоснованно назначен лишь на основе анализа функционирования комплекса: объект эксплуатации – СТОР.

Цель исследования – разработка показателя, использующегося для оценки готовности восстанавливаемых систем с сетевой структурой. Таким показателем является коэффициент готовности информационного направления $K_{r,t}$ (вероятность связности двух произвольных абонентов сети S и t) [2, 6, 8], под которым будем понимать вероятность того, что в произвольный момент времени между заданной парой полюсов S и t окажется хотя бы один работоспособный простой путь. Отметим, что причиной нарушения связи между абонентами может быть не полное отсутствие связи между ними, а снижение пропускного потока по сети между данными вершинами ниже некоторого заданного уровня. Однако данные аспекты в части.

Исходные предположения и допущения метода исследования

При оценке качества функционирования сети связи и СТОР интерес могут представлять также и ряд других показателей, таких как среднее число средств, находящихся на обслуживании, среднее время пребывания средств на обслуживании, среднее время наработки на отказ информационного направления, среднее время восстановления работоспособности информационного направления и другие.

Модель для расчета перечисленных показателей описывается следующим образом.

Сеть произвольной структуры, представленная графом, содержит K узлов связи, в составе которых используются R типов средств, различающихся по целевым функциям и параметрам надежности. Число средств типа η ($\eta = 1, R$) на k -м узле равно h_{η}^k , общее число средств равно H . Задана так-

же матрица расстояний между элементами сети

$$L = \|\ell_{ij}\| \quad (i, j = \overline{1, K}).$$

Сеть обслуживают N центров технического обслуживания и ремонта. Обратим внимание, что число ЦТОР меньше числа узлов. В состав каждого ЦТОР входит ρ_n бригад ($n = \overline{1, N}$), где общее число бригад меньше суммарного количества обслуживаемых средств. Каждый ЦТОР силами входящих в его состав бригад обслуживает одно из подмножеств элементов сети. При этом в общем случае эти подмножества могут быть пересекающимися, т.е. определенные элементы сети связи могут быть обслужены двумя и более ЦТОР.

Наличие в ЦТОР ρ_n бригад учитывается зависимостью интенсивности обслуживания в данном центре от количества заявок на обслуживание l_n :

$$\mu_n = \begin{cases} \ell_n \mu_{zn}, & \ell_n \leq \rho_n; \\ \rho_n \mu_{zn}, & \ell_n > \rho_n. \end{cases} \quad (1)$$

Величина μ_3 представляет собой интенсивность обслуживания заявок одной бригадой и определяется в зависимости от принятого в данной системе алгоритма работы ЦТОР. Если обслуживание элементов сети связи осуществляется выездными бригадами ЦТОР, причём после удовлетворения заявки бригада возвращается обратно в ЦТОР, то μ_3 можно определить как это сделано в [7]:

$$\mu_3 = \left(2\bar{T}_{np} + \frac{1}{\mu_0} \right)^{-1}, \quad (2)$$

где \bar{T}_{np} – среднее время, затрачиваемое бригадой на движение между ЦТОР и элементом сети; μ_0^{-1} – среднее время, затрачиваемое бригадой на выполнение операций по обслуживанию.

Если бригады действуют автономно, т.е. после обслуживания одного элемента сети могут не возвращаться в ЦТОР, а перемещаться к следующему элементу, требующему обслуживания (что обычно имеет место в условиях большой загрузки), то μ_3 можно определить как

$$\mu_3 = \left(\bar{T}_{np}^I + \frac{1}{\mu_0} \right)^{-1}, \quad (3)$$

где \bar{T}_{np}^I – среднее по всем маршрутам между элементами сети и СТОР время, затрачиваемое бригадой на движение. В том случае, когда средства, требующие обслуживания,

доставляются в ЦТОР, и бригады не затрачивают времени на передвижения, $\mu_3 = \mu_0$.

Пусть имеется также ремонтный орган, осуществляющий восстановление средств и в случаях, когда это невозможно сделать силами ЦТОР (например, капитальный ремонт). После восстановления каждое средство возвращается туда же, откуда оно поступило.

Таким образом, в рассматриваемой системе имеет место ограниченное неоднородное восстановление. Причем события, состоящие в работоспособности элементов, обслуживаемых одним ЦТОР, являются зависимыми.

Постановка задачи исследований

Для определения показателей качества функционирования системы связи и СТОР целесообразно использовать аппарат локально сбалансированных сетей массового обслуживания [3, 4].

Система связи совместно с центрами технического обслуживания и ремонта и ремонтным органом формализованно могут быть представлены в виде открытой неоднородной сети массового обслуживания, состоящей из $M = N + P$ систем массового обслуживания (СМО) и внешнего источника. При этом СМО_{*m*} ($m = 1, N$) имитирует процессы функционирования центров технического обслуживания и ремонта по удовлетворению заявок на ТО и ремонт, а остальные СМО описывают процессы появления заявок на обслуживание и ремонт. Внешний источник моделирует процесс функционирования ремонтного органа.

Движение заявок по сети массового обслуживания и распределение зон обслуживания описываются маршрутной матрицей $P = \|P_{ij}\|$, в которой P_{io} и P_{oj} соответственно вероятность поступления заявок из *i*-й системы в ремонтный орган и вероятность возвращения из ремонтного органа в *j*-й центр; P_{ij} – вероятность поступления заявок из СМО_{*i*} в СМО_{*j*}, причём $\sum_j P_{ij} = 1$ ($i = 1, M$),

т.е. каждый элемент обслуживается хотя бы в одном из центров.

Разработка математических моделей выбора оптимального варианта

Пусть состояние такой сети массового обслуживания определяется матрицей

$$n_{**}^{(R)} = (n_{0*}^{(R)}, n_{2*}^{(R)}, \dots, n_{M*}^{(R)}), \quad (4)$$

где $n_{m*}^{(R)} = (n_{m1}^{(R)}, n_{m2}^{(R)}, \dots, n_{m\eta}^{(R)}, \dots, n_{mM}^{(R)})$; $n_{m\eta}^{(R)}$ – количество заявок класса η , находящихся в СМО_{*m*}.

В [4] для стационарного режима приведено выражение для определения вероятности $P(n_{**}^{(R)})$ того, что открытая сеть массового обслуживания находится в состоянии $n_{**}^{(R)}$:

$$P(n_{**}^{(R)}) = G^{-1} \Lambda \prod_{m=1}^M f_m(n_{m*}), \quad (5)$$

где G – нормализующая константа

$$G = \sum_{\psi} \Lambda^* \prod_{m=1}^M f_m(n_{m*}); \quad (6)$$

здесь Λ^* – интенсивность входящего (выходящего) потока заявок на обслуживание; ψ – множество всех возможных состояний сети массового обслуживания; $f_m(n_{m*})$ – функция, вид которой определяется в зависимости от характеристик центра обслуживания, дисциплины обслуживания и характеристик потока заявок.

При этом подсистемы элементов сети связи без резервирования, а также подсистемы элементов с нагруженным резервированием могут быть описаны [3, 4] системами массового обслуживания типа *IS* (тип СМО, где число обслуживающих приборов не меньше суммарного количества заявок), допускающими произвольное распределение наработки на отказ, но имеющими рациональное преобразование Лапласа. Подсистемы элементов с ненагруженным или комбинированным резервом описываются СМО типа *FCFS* (тип СМО, в которых требования обслуживаются в порядке их поступления) с числом обслуживающих приборов, равным числу активно работающих элементов. Распределение наработки на отказ при этом допускается экспоненциальное.

Функция $f_m(n_{m*})$ в этих случаях имеет следующий вид [4]:

$$f_m(n_{m*}) = \begin{cases} \prod_{\eta=1}^R \frac{1}{n_{m\eta}!} \left(\frac{e_{m\eta}}{\lambda_{m\eta}} \right)^{n_{m\eta}} & \text{– для СМО типа } IS; \\ \frac{n_m!}{\lambda_m^{n_m}} \prod_{\eta=1}^R \frac{e_{m\eta}^{n_{m\eta}}}{n_{m\eta}!}, \quad n_m = \sum_{\eta=1}^R n_{m\eta} & \text{– для СМО типа } FCFS, \end{cases} \quad (7)$$

где $e_{m\eta}$ определяется из системы линейных уравнений

$$e_{m\eta} = P_{(0,m)\eta} + \sum_i e_{i\eta} P_{(i,m)\eta},$$

$$m = \overline{1, M}, \quad \eta = \overline{1, R}, \quad (8)$$

а $P_{(i,m)\eta}$ – вероятность перехода заявки класса η из СМО_{*i*} в СМО_{*m*}.

Обслуживание заявок на ТО и ремонт в СМО_{*m*} ($m = \overline{1, N}$) может осуществляться в соответствии с функциями FCFS, LCFS или RAND. Для СМО с функцией FCFS допускается при этом экспоненциальное распределение времени обслуживания, для двух других функций – произвольные с рациональными преобразованиями Лапласа и средними $\mu_{m\eta}^{-1}$. При этом $f_m(n_{m*})$ определяется [4]:

$$f_m(n_{m*}) = n_{m!} \prod_{\eta=1}^R \left(\frac{e_{m\eta}}{\mu_{m\eta}} \right)^{n_{m\eta}} \cdot \frac{1}{n_{m\eta}}. \quad (9)$$

С использованием стационарных вероятностей состояний сети массового обслуживания $P(n_{**}^{(R)})$ могут быть определены требуемые показатели качества функционирования системы технического обслуживания и ремонта сети связи.

Коэффициент готовности информационного направления K_{st} , под которым понимается вероятность того, что в произвольный момент времени между заданной парой полюсов S и t окажется хотя бы один работоспособный простой путь, может быть определен как сумма вероятностей нахождения сети массового обслуживания во множестве Ψ_{st} всех тех состояний, при которых имеется хотя бы один такой путь:

$$K_{st} = \sum_{\Psi_{st}} P(n_{**}^{(R)}). \quad (10)$$

Среднее число средств, находящихся на обслуживании и ожидающих обслуживания j -м ЦТОР, есть среднее число заявок, находящихся в очереди и на обслуживании в СМО, имитирующей функционирование данного ЦТОР и определяется следующим образом:

$$L_j(H) = \sum_{h=1}^H h P_j(h), \quad (11)$$

где $P_j(h)$ – вероятность нахождения сети массового обслуживания в состояниях, когда в СМО_{*j*} и в очереди находится h заявок на обслуживание. Заметим при этом, что $L_j(H)$ не зависит от функций обслуживания заявок при следующих условиях [5]:

– пока в системе есть неудовлетворенные требования, обслуживающие механизмы не прекращают функционировать;

– обслуживание любого требования доводится до конца;

– дисциплина очереди не основана на приоритете динамического типа.

Среднее время простоя $\bar{\tau}_{nj}$ элемента сети связи, входящего в зону обслуживания j -го ЦТОР, складывается из времени, затрачиваемого собственно на восстановление работоспособности, и времени ожидания обслуживания по причине отсутствия свободных бригад. Для СМО_{*j*}, имитирующей работу j -го ЦТОР, среднее время пребывания в очереди и на обслуживании может быть определено с использованием формулы Литтла [4, 5]:

$$\bar{\tau}_{nj} = \frac{L_j(H)}{\lambda_j(H)}, \quad (12)$$

где $\lambda_j(H)$ – средняя интенсивность входящего в СМО_{*j*} суммарного потока заявок на обслуживание.

Знание среднего времени наработки на отказ элемента сети связи и среднего времени простоя позволяет определить величину коэффициента готовности данного элемента K_{rj} .

Введем в рассмотрение понятие структурной функции, имеющей существенное значение в задачах определения показателей надежности структурно-сложных систем, в частности сетей связи [6, 8].

Результаты исследования и их обсуждение

Если в качестве модели функционирования информационного направления выбрана модель системы, которая может находиться в двух состояниях:

в состоянии работоспособности, когда существует хотя бы один работоспособный простой путь между заданной парой полюсов S и t не существует;

система состоит из элементов, которые в свою очередь могут находиться только в двух состояниях – работоспособном и неработоспособном, то структурная функция S связывает состояние системы Y с состоянием элементов X_i , из которых состоит данная система:

$$Y = S(X_1, X_2, \dots, X_n),$$

где X_i – булева переменная, описывающая состояние i -го элемента сети связи;

$$X_i = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-й элемент сети работоспособен,} \\ 0, & \text{в противном случае;} \end{cases}$$

Y – булева переменная, описывающая состояние информационного направления $S-t$:

$$Y = \begin{cases} 1, & \text{если информационное направление работоспособно,} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Если структурная функция S построена, то показатель надежности системы определяется как вероятность равенства структурной функции единице, а коэффициент готовности информационного направления $K_{r_{st}}$ связан с коэффициентами готовности элементов $K_{r_{si}}$ соотношением

$$K_{r_{st}} = S(K_{r_{s1}}, K_{r_{s2}}, \dots, K_{r_{sn}}) = S(K_{r_{si}}), \quad (13)$$

где $K_{r_{s1}}$ и $K_{r_{sn}}$ – коэффициенты готовности S -го и t -го элементов (входного и выходного полюсов) и произведён переход от функций алгебры логики к вероятностным функциям.

Для расчета среднего времени наработки на отказ информационного направления \bar{T}_0 можно воспользоваться соотношением [6]:

$$\bar{T}_0 = K_{r_{st}} \left[\sum_{i=1}^n \frac{K_{r_{si}}}{\bar{\tau}_{0i}} \cdot \frac{\partial S(K_{r_{si}})}{\partial K_{r_{si}}} \right]^{-1}, \quad (14)$$

где $\bar{\tau}_{0i}$ – среднее время наработки на отказ i -го элемента сети.

Для некоторых частных случаев выражение (14) можно упростить. Для этого воспользуемся леммой, доказанной в [2]:

$$S(K_{r_{si}}) = K_{r_{si}} S(1_i, K_{r_{sj}}) + (1 - K_{r_{si}}) S(0_i, K_{r_{sj}}), \quad (15)$$

где $S(1_i, K_{r_{sj}})$ и $S(0_i, K_{r_{sj}})$ – структурные функции системы, в которой i -й элемент находится в заведомо работоспособном и в заведомо отказовом состояниях соответственно. Применяв разложение (15) структурной функции, записанной для информационного направления $S-t$ относительно полюса S , получим

$$S(K_{r_{st}}) = K_{r_{st}} \cdot K_{r_{st}} \cdot S(1_S, 1_t, K_{r_{sj}}). \quad (16)$$

Если между парой полюсов S и t существует несколько простых путей, а элементы, составляющие эти пути, высоконадежны, причем среди них нет, кроме полюсов, элементов, отказ которых однозначно приводит к отказу всего информационного направления (что, как правило, имеет место в реальных сетях связи),

то $S(1_S, 1_t, K_{r_{sj}}) \approx 1$ и $K_{r_{st}} \approx K_{r_{sS}} \cdot K_{r_{tT}}$, т.е. готовность информационного направления $S-t$ определяется в основном готовностью полюсов S и t . В этом случае выражение (14) преобразуется к виду

$$\bar{T}_0 = \frac{\bar{\tau}_{0S} \bar{\tau}_{0t}}{\bar{\tau}_{0S} + \bar{\tau}_{0t}}. \quad (17)$$

Среднее время восстановления работоспособности информационного направления рассчитывается по известным $K_{r_{st}}$ и \bar{T}_0 :

$$\bar{T}_0 = \frac{1 - K_{r_{st}}}{K_{r_{st}}} \cdot \bar{T}_0. \quad (18)$$

Предполагаемая модель позволяет производить расчет ряда показателей качества функционирования системы технического обслуживания и ремонта сетей связи и может быть использована при решении задач оптимизации структуры и алгоритмов функционирования СТОР, при определении степени централизации СТОР, а также при расчёте показателей надежности структурно-сложных восстанавливаемых систем.

Выводы

Предполагаемая модель позволяет производить расчет ряда показателей качества функционирования системы технического обслуживания и ремонта сетей связи и может быть использована при решении задач оптимизации структуры и алгоритмов функционирования СТОР, при определении степени централизации СТОР, а также при расчёте показателей надежности структурно-сложных восстанавливаемых систем.

Список литературы

1. Агаян А.А., Захаренко Г.Д. Оптимизация структур цифровых сетей связи и технического обслуживания. Ч. 1,2 – М.: ИПК МПСС, 1996.
2. Барлоу Р., Прошан Ф. Статистическая теория надежности и испытания на безотказность / пер. с англ. – М.: Наука, Главная редакция, физико-математической литературы, 2004.
3. Гагин А.А., Нарышкина Т.С. Расчет коэффициента готовности ложной системы из неоднородных элементов

при неограниченном восстановлении // Издание АН СССР, ТК. – 1987. – № 4.

4. Шестопалова О.Л. Прогнозирование моральной долговечности распределенных информационных систем с учетом прогрессирующих ограничений на возможности восстановления ресурса элементной базы // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6. – С. 83. URL: <http://www.science-education.ru/113-11078>.

5. Шестопалова О.Л. Автоматизация контроля состояний сложных технических систем на основе использования конечно-автоматной модели и нейросетевых структур / В.Б. Вечеркин, А.И. Лоскутов, О.Л. Шестопалова // Информационно-управляющие системы. – 2012. – № 2 (57). – С. 74–81.

6. Шестопалова О.Л. Прогнозирование соответствия характеристик космических средств предъявляемым требованиям на основе использования нечеткой регрессионной модели / Н.П. Сизяков, О.Л. Шестопалова // Информация и космос. – 2010. – № 1. – С. 133–135.

7. Шестопалова О.Л. Определение потребности в модернизации средств технического обеспечения распределенной системы сбора и обработки информации / А.Н. Дорохов, А.Н. Миронов, О.Л. Шестопалова // Информация и космос. – 2014. – № 1. – С. 9–12.

8. Шестопалова О.Л. Основы построения систем сбора и обработки информации о техническом состоянии космических средств. – Набережные Челны: Изд-во Камской гос. инж.-экон. акад., 2007. – 91 с.

References

1. Agayan A.A., Zakharenko G.D. Optimizatsiya struktur tsifrovyykh cetey svyazi i tekhnicheskogo obsluzhivaniya. Ch. 1,2 М.: ИПК МРСС, 1996.

2. Barlou R., Proshan F. Statisticheskaya teoriya nadezhnosti i ispytaniya na bezotkaznost / Perevod s angliyskogo – М.: Nauka, Glavnaya redaktsiya, fiziko-matematicheskoy literatury, 2004.

3. Gagin A.A., Naryshkina T.S. Raschet koeffitsienta gotovnosti lozhnoy sistemy iz neodnorodnykh elementov pri neogranichennom vosstanovlenii. – Izdanie AN SSSR, 1987, no. 4.

4. Shestopalova O.L. Prognozirovaniye moralnoy dolgovechnosti raspredelennykh informatsionnykh sistem s uchetom progressiruyushchikh ogranicheniy na vozmozhnosti vosstanovleniya resursa elementnoy bazy. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2013, no. 6. p. 83. URL: <http://www.science-education.ru/113-11078>.

5. Shestopalova, O.L., Vecherkin V.B., Loskutov A.I., Avtomatizatsiya kontrolya sostoyaniya slozhnykh tekhnicheskikh sistem na osnove ispolzovaniya konechno-avtomatnoy modeli i neyrosetevykh struktur/ Shestopalova. *Informatsionno-upravlyayushchie sistemy*, no. 2 (57), 2012. pp. 74–81.

6. Shestopalova, O.L. Prognozirovaniye sootvetstviya kharakteristik kosmicheskikh sredstv predyavlyаемым trebovaniyam na osnove ispolzovaniya nechetkoy regressionnoy modeli / N.P. Sizyakov, O.L. Shestopalova. *Informatsiya i kosmos*, no. 1, 2010, pp. 133–135.

7. Shestopalova, O.L. Opredeleniye potrebnosti v modernizatsii sredstv tekhnicheskogo obespecheniya raspredelennoy sistemy sbora i obrabotki informatsii / A.N. Dorokhov, A.N. Mironov, O.L. Shestopalova // *Informatsiya i kosmos*, no. 1, 2014. pp. 9–12.

8. Shestopalova O.L. *Osnovy postroeniya sistem sbora i obrabotki informatsii o tekhnicheskoy sostoyanii kosmicheskikh sredstv. Naberezhnye Chelny: Izd-vo Kamskoy gos. inzhekon. akad., 2007. pp. 91.*

Рецензенты:

Козлов В.В., д.т.н., профессор кафедры, ФГКВОО ВПО «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского» Министерства обороны РФ, г. Санкт-Петербург;

Смагин В.А., д.т.н., профессор кафедры, ФГКВОО ВПО «Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского» Министерства обороны РФ, г. Санкт-Петербург.