

ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

УДК 004.75

DOI: 10.26467/2079-0619-2017-20-5-161-170

**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПОСТРОЕНИЯ ПОДСИСТЕМЫ
ОБЕСПЕЧЕНИЯ СОХРАННОСТИ ИНФОРМАЦИИ
В РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ**

Д.О. ЕСИКОВ¹, Р.Н. АКИНШИН², П.И. АБРАМОВ³, Л.Э. ЛУТИНА⁴

¹Тульский государственный университет, г. Тула, Россия,

²Секция прикладных проблем РАН, г. Москва, Россия,

³Научно-исследовательский институт «Полюс» им. М.Ф. Стельмаха,
г. Москва, Россия,

⁴Московский государственный технический университет гражданской авиации,
г. Москва, Россия

Практическая реализация концепции распределенной информационной системы требует реализации целого комплекса научно-технических задач, связанных с выбором состава и порядка использования средств хранения и обработки информации, созданием и использованием общих информационных массивов, обеспечением информационной безопасности и др. В основе современных распределённых информационных систем находится система связи и передачи информации, а также система хранения и обработки данных. Система хранения и обработки данных предназначена для организации надежного, а также отказоустойчивого хранения данных, высокопроизводительного доступа серверов к устройствам хранения и обработки информации. Предложен показатель качества функционирования системы хранения и обработки данных. Рассмотрены задачи, которые необходимо решить при построении и эксплуатации системы хранения и обработки данных с учётом требований высоконадёжного хранения данных, а также их конфигураций в следующем составе: определения количества и местоположения центров хранения и обработки данных в распределённых информационных системах; выбора состава комплекса средств хранения данных в центрах хранения и обработки информации с учетом организации подсистемы резервного копирования, архивирования и восстановления данных. Сформулирована задача оптимизации состава средств хранения по критерию максимума значения коэффициента готовности системы хранения данных. Данная задача сведена к виду задач целочисленного линейного программирования с булевыми переменными, что позволяет для её решения применять существующие методы. Разработана методика для определения рационального уровня расходов на формирование комплекса средств хранения данных в системе хранения и обработки данных, основанная на применении элементов теории вероятностей и теории благосостояния (принцип оптимальности по Парето). Получено решение данной задачи путём оптимизации линейной свёртки.

Ключевые слова: математические модели, распределённые информационные системы, сохранность информации, система хранения и обработки данных.

ВВЕДЕНИЕ

Практическая реализация концепции распределенной информационной системы (РИС) требует реализации целого комплекса научно-технических задач, связанных с выбором состава и порядка использования средств хранения и обработки информации, созданием и использованием общих информационных массивов, обеспечением информационной безопасности и др. Создание РИС связано с широким внедрением сетей ЭВМ, распределённых баз данных, электронных архивов информации, систем передачи информации. В основе современных РИС находится система связи и передачи информации, а также система хранения и обработки данных (СХОД).

Система хранения и обработки данных предназначена для организации надежного, а также отказоустойчивого хранения данных, высокопроизводительного доступа серверов к устройствам хранения и обработки информации [1].

Система хранения и обработки данных обычно включает в себя следующие подсистемы и компоненты [2, 3]: устройства хранения данных, обеспечивающие как долговременное хране-

ние данных, так и оперативный доступ к информации; средства организации доступа и обработки данных; систему резервного копирования, архивирования и восстановления данных; систему управления, обеспечивающую мониторинг и управление уровнем качества сервисов хранения и обработки данных.

В качестве показателя качества, а в ряде случаев и показателя устойчивости функционирования СХОД в условиях воздействия дестабилизирующих факторов, обычно используют коэффициент устойчивости [4, 5]:

$$K_y = \prod_{i=1}^I K_{y_{ci}},$$

где $K_{y_{ci}}$ – коэффициент готовности вычислительной системы в условиях воздействия i -го дестабилизирующего фактора ($i = 1, 2, \dots, I$)

$$K_{y_{ci}} = 1 - \frac{|K_{mp} - K_{\partial fi}|}{K_{mp}},$$

где K_{mp} – требуемое значение показателя качества функционирования системы; $K_{\partial fi}$ – значение показателя качества функционирования системы в условиях воздействия i -го дестабилизирующего фактора.

Обеспечение сохранности информации в СХОД производится путём применения специальных мер организации хранения, восстановления (регенерации) информации, специальных устройств архивирования и резервирования информации. Качество обеспечения сохранности информации зависит от её целостности (точности, полноты) и готовности к постоянному использованию [6, 7].

Резервные хранилища информации в СХОД по типу устройств резервирования делятся на [3]: хранилища на базе жестких дисков (RAID-массивы); хранилища на магнитных лентах; хранилища на базе оптических дисков.

При большом количестве разновидностей систем и средств высоконадежного хранения данных, а также их конфигураций, разнообразия решаемых в РИС задач, при построении и эксплуатации СХОД стоят следующие задачи [8–11]: определения количества и местоположения центра хранения и обработки данных (ЦХОД) в РИС; выбора состава комплекса средств хранения данных в ЦХОД, с учетом организации подсистемы резервного копирования, архивирования и восстановления данных.

Вследствие большого разнообразия существующих средств хранения данных, вариантов организации СХОД, определение конкретного перечня используемых технических средств и их распределения по структурным элементам СХОД в условиях жестких ограничений на совокупную стоимость построения системы, временные параметры доступа и обработки данных целесообразно осуществлять решением комплекса оптимизационных задач [4].

Вычислительная сеть, лежащая в основе построения РИС, может быть представлена в виде графа G [10], множеством вершин которого $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ являются узлы сети (вычислительные комплексы), а множеством дуг $A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ (ребер) – каналы связи. Каждая вершина графа имеет вес, соответствующий ее важности (важности решаемых в данном узле задач). Каждая дуга (ребро) графа имеет вес, соответствующий заданной характеристике канала связи (пропускной способности, среднему времени передачи эталонного сообщения и т. п.).

Пусть, необходимо решить задачу распределения ЦХОД в количестве равном p по узлам сети РИС, исходя из ограничений на обобщенную стоимость ЦХОД.

Физический смысл задачи распределения p ЦХОД в сети вычислительного комплекса состоит в том, чтобы сумма кратчайших расстояний от них до вершин графа была минимально возможной. Оптимальное в указанном смысле место расположения пунктов называется медианами графа [10]. Сопоставив каждой вершине x_j графа некоторый вес v_j (представляющий ее важность), получим зависимости для определения передаточных чисел графа в следующем виде [9]:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_0(x_i) &= \sum_{x_j \in X} v_j d(x_i, x_j), \\ \sigma_t(x_i) &= \sum_{x_j \in X} v_j d(x_j, x_i), \end{aligned} \right\} x_i \in X, \quad (1)$$

где $d(x_i, x_j)$ – кратчайшее расстояние от вершины x_i до вершины x_j , числа $\sigma_0(x_i)$ и $\sigma_t(x_i)$ – внешнее и внутреннее передаточное число вершины x_i .

Вершина $\bar{x}_0$, для которой $\sigma_0(\bar{x}_0) = \min_{x_i \in X} [\sigma_0(x_i)]$, является внешней медианой графа G , а вершина $\bar{x}_t$, для которой $\sigma_t(\bar{x}_t) = \min_{x_i \in X} [\sigma_t(x_i)]$, внутренней медианой графа.

Пусть X_p – подмножество вершин X графа G , тогда введем следующие обозначения:

$$d(X_p, x_j) = \min_{x_i \in X_p} [d(x_i, x_j)], \quad (2)$$

$$d(x_j, X_p) = \min_{x_i \in X_p} [d(x_j, x_i)], \quad (3)$$

Если x_i^* – вершина из X_p , на которой достигается минимум в (2) или (3), говорят, что вершина x_j прикреплена к x_i^* . Тогда (1) будет иметь вид

$$\left. \begin{aligned} \sigma_0(X_p) &= \sum_{x_j \in X} v_j d(X_p, x_j), \\ \sigma_t(X_p) &= \sum_{x_j \in X} v_j d(x_j, X_p), \end{aligned} \right\}$$

где $\sigma_0(X_p)$ и $\sigma_t(X_p)$ – внешнее и внутреннее передаточные числа.

Множество $\bar{X}_p^0$, для которого $\sigma_0(\bar{X}_p^0) = \min_{X_p \subseteq X} [\sigma_0(X_p)]$ называют внешней p -медианой графа G ; аналогично определяется внутренняя p -медиана.

Исходя из выше сказанного, задача распределения ЦХОД по узлам сети может быть сформулирована в следующем виде.

Определить такие значения y_{ij} , такие что

$$z = \min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} y_{ij} \quad (4)$$

при ограничениях

$$\sum_{j=1}^n y_{ij} = 1, j = 1, 2, \dots, n, \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n y_{ii} = p, \quad (6)$$

$$y_{ij} \leq y_{ii}, j = 1, 2, \dots, n, \quad (7)$$

$$y_{ij} = \{0, 1\}, i = 1, 2, \dots, n, j = 1, 2, \dots, n, \quad (8)$$

где $y_{ij} = 1$, если вершина x_j прикреплена к вершине x_i , $y_{ij} = 0$ в противном случае, и $y_{ii} = 1$, если вершина x_i – медиана, $y_{ii} = 0$ – в противном случае.

Если $\|y_{ij}^*\|$ – решение задачи (4)–(8), то p -медиана имеет вид

$$\overline{X}_p = \{x_i \mid y_{ii}^* = 1\}.$$

Задача (4)–(8) относится к классу задач целочисленного линейного программирования. Для ее решения может использоваться метод ветвей и границ [7, 9, 10].

Пусть все средства хранения данных, претенденты на включение в состав комплекса технических средств ЦХОД делятся на I групп. В каждую i -ю группу средств хранения входит Z_i средств хранения, имеющих номера с I по Z_i . Задана стоимость, время восстановления и объем информационного пространства каждого средства хранения данных.

Тогда по критерию максимума значения коэффициента готовности системы хранения данных в целом задача оптимизации состава средств хранения может быть сформулирована следующим образом [9, 11]. Найти значения переменных z_i ($i = 1, 2, \dots, I$), такие что

$$\prod_{i=1}^I K_{\Gamma_i}(z_i) \rightarrow \max,$$

при ограничениях:

на стоимость системы резервирования:

$$\sum_{i=1}^I C_i(z_i) \leq C^{\text{Don}}, \quad (9)$$

на время восстановления системы резервирования:

$$\sum_{i=1}^I T_i^B(z_i) \leq T^{\text{B Don}}, \quad (10)$$

на общий объем средств хранения:

$$\sum_{i=1}^I V_i(z_i) \geq V_i^{\text{Don}}, \quad (11)$$

на значения переменных

$$z_i = 0, 1, 2, \dots, Z_i. \quad (12)$$

где C^{Don} – максимально допустимая стоимость системы хранения и резервирования;
 $T^{B\ Don}$ – максимально допустимое время восстановления системы хранения и резервирования;
 V_i^{Don} – максимально допустимый информационный объем системы хранения и резервирования данных, I – число видов средств хранения информации.

Задача (9)–(12) относится к классу задач выбора комплекса технических средств, и для её решения применяются методы динамического программирования [7, 10].

Однако задача (9)–(12) путем логарифмирования целевой функции может быть преобразована к следующему виду:

$$\sum_{i=1}^{I_{Общ}} x_i \ln K_{\Gamma_i} \rightarrow \max. \quad (13)$$

При ограничениях:
на стоимость системы хранения:

$$\sum_{i=1}^{I_{Общ}} C_i x_i \leq C^{don}, \quad (14)$$

на время восстановления системы резервирования:

$$\sum_{i=1}^{I_{Общ}} T_i^B x_i \leq T^{B\ Don}, \quad (15)$$

на общий объем средств хранения:

$$\sum_{i=1}^{I_{Общ}} V_i x_i \geq V_i^{Don}, \quad (16)$$

на значения переменных:

$$x_i = \{0, 1\}, \sum_{i \in L_j} x_i \leq 1, j = 1, 2, \dots, \sum_{k=1}^I Z_k, \quad (17)$$

где x_i – значения переменных в целевой функции, $x_i = 1$ если i -ое средство включено в комплекс и 0 – в противном случае; I – общее число видов средств хранения информации, L_j – множество номеров средств хранения информации j -го вида.

Задача (13)–(17) относится к классу задач целочисленного линейного программирования с булевыми переменными, и для её решения может быть использован метод ветвей и границ [7, 12–14].

Предлагается для определения рационального уровня расходов на формирование комплекса средств хранения данных в ЦХОД использовать методику, основанную на применении элементов теории вероятностей и теории благосостояния (принцип оптимальности по Парето) [8–10, 15], суть которой состоит в следующем.

Обозначим через $q \in [0,1]$ параметр, характеризующий уровень сохранности информации в РИС. При этом потери от нарушения сохранности информации Z_ϕ (разрушения, искажения) зависят непосредственно от величины q . При $q = 0$, то есть отсутствии в РИС системы ОСИ величина Z_ϕ будет иметь максимальное значение, и минимальное значение (в идеальном случае равное 0) при $q = 1$. Последний случай соответствует «абсолютно» эффективной системе ОСИ.

$$Z_\phi = Z_\phi(q), q \in [0,1]$$

Обозначим через C_1 максимальный уровень потерь от разрушения или искажения информации в РИС.

Будем считать, что с ростом величины q значение потерь Z_ϕ уменьшается по экспоненциальному закону в соответствии с функцией

$$Z_\phi(q) = C_1 e^{-\alpha q}, \quad (18)$$

где значение α определяется из выражения $\alpha = \ln\left(\frac{C_1}{\varepsilon}\right)$, ε – параметр, учитывающий степень важности информации, обращающейся в РИС.

Создание системы ОСИ в РИС связано с существенными затратами.

Обозначим через Z_c затраты на создание системы ОСИ.

$$Z_c = Z_c(q), q \in [0,1].$$

По аналогии с (18)

$$Z_c(q) = C_2 e^{-b(1-q)}, \quad (19)$$

где C_2 – объем затрат на создание «абсолютной» системы ОСИ, при которой уровень сохранности информации $q = 1$,

$$b = \ln\left(\frac{C_2}{\varepsilon}\right).$$

При разработке системы ОСИ путем выбора значения $q \in [0,1]$ минимизируют затраты на создание системы ОСИ Z_ϕ и потери от нарушения сохранности информации Z_c .

$$Z_\phi(q) \rightarrow \min_{0 < q < 1}, \quad Z_c(q) \rightarrow \min_{0 < q < 1}.$$

В связи с тем, что с ростом q значение Z_ϕ убывает, а Z_c – возрастает, решение данной задачи лежит в области компромисса между (18) и (19), при этом формулируется двухкритериальная задача

$$(Z_\phi, Z_c) \rightarrow \min_{0 < q < 1}. \quad (20)$$

Парето-оптимальное решение (20) получается путём минимизации линейной свёртки (18) и (19):

$$L(q, \lambda) = \lambda Z_{\phi}(q) + (1 - \lambda) Z_c(q) \rightarrow \min_{0 < q < 1}, \quad (21)$$

где $\lambda \in (0, 1)$ – параметр свёртки критериев.

Условием наличия экстремума $L(q, \lambda)$ будет $\frac{\partial L}{\partial q} = 0$. С учетом (21), (18) и (19) получим

$$-\lambda \alpha C_1 e^{-\alpha q} + (1 - \lambda) C_2 b e^{-b(1-q)} = 0.$$

Тогда, решая данное уравнение, получим

$$q(\lambda) = \frac{-\ln\left(\frac{C_2 b(1-\lambda)}{\lambda C_1 \alpha}\right) + b}{\alpha + b}, \quad \lambda \in (0, 1).$$

Пусть определен минимально допустимый с точки зрения ОСИ уровень q^* , то есть

$$q^* \leq q(\lambda) \leq 1.$$

Исходя из этого, можно определить границы значений параметра свертки $\lambda_{\min}$ и $\lambda_{\max}$.

$$\lambda_{\min} = \frac{C_2 b e^{-b(1-q^*)}}{C_2 b e^{-b(1-q^*)} + C_1 \alpha e^{-\alpha q^*}},$$
$$\lambda_{\max} = \frac{C_2 b}{C_2 b + C_1 \alpha e^{-\alpha}}.$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, множество значений вероятности ОСИ в РИС и соответствующие им значения потерь от потери или искажения информации и затрат на создание системы ОСИ возможно определить путём варьирования значений параметра свертки λ в интервале $[\lambda_{\min}, \lambda_{\max}]$, что позволит выбрать значение требуемой вероятности обеспечения сохранности информации из полученного множества. При этом в качестве исходных данных для получения вышеуказанного множества выступает незначительный набор данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бройдо В.Л. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации: учебник для вузов. СПб.: Питер, 2006. 703 с.
2. Кореев В.В. Вычислительные системы. М.: Гелиос АРВ, 2004. 512 с.
3. Найк Д. Системы хранения данных в Windows. М.: Вильямс, 2005. 419 с.
4. Николаев В.И. Системотехника: методы и приложения / В.И. Николаев, В.М. Брук. Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1985. 199 с.

5. Воронин А.А., Морозов Б.И. Надежность информационных систем: учебное пособие. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2001.

6. Есиков Д.О. Обеспечение устойчивого функционирования вычислительных систем за счет обеспечения высоконадежного хранения данных // Сборник статей пятнадцатой международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные исследования, разработка и применение высоких технологий в промышленности», Санкт-Петербург. СПб: Политехн. универ-т, 2013.

7. Киселев В.Д., Есиков О.В., Кислицын А.С. Теоретические основы оптимизации информационно-вычислительного процесса и состава комплексов средств защиты информации в вычислительных сетях / под ред. профессора Е.М. Сухарева. М.: Полиграфсервис XXI век, 2003. 198 с.

8. Yesikov D.O. Increase of level of stability of functioning of systems of storage and data processing at the expense of realization of actions for ensuring safety of information. Third International Conference "High Performance Computing" HPC-UA 2013, Ukraine, Kyiv, October 7–11, 2013. С. 416–420.

9. Математические модели, методики и алгоритмы обеспечения устойчивости функционирования современных систем хранения и обработки данных / О.В. Есиков, С.С. Саватеев, Д.О. Есиков, А.В. Струков, Е.М. Сухарев // Нелинейный мир. 2013. № 9. С. 621–631.

10. Есиков Д.О. Задачи обеспечения устойчивости функционирования распределенных информационных систем // Программные продукты и системы. 2015. № 4 (112).

11. Ivutin A., Yesikov D. Complex of Mathematical Models to Ensuring Sustainability of the Distributed Information Systems. 4rd Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO) June 14–18 2015. Budva, Montenegro, 2015, pp. 106–109. DOI: 10.1109/MECO.2015.7181878 (Scopus и Web of Science)

12. Yesikov D.O., Ivutin A.N., Larkin E.V., Kotov V.V. (2017). Multi-agent Approach for Distributed Information Systems Reliability Prediction. Procedia Computer Science, 2017, Vol. 103. pp. 416–420.

13. Yesikov D.O., Ivutin A.N. Rational values of parameters of island genetic algorithms for the effective solution of problems of ensuring stability of functioning of the distributed information systems. 12–16 June 2016, 2016 5th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO) 2016, pp. 309–312. DOI: 10.1109/MECO.2016.7525769 (SCOPUS, Web of Science)

14. Карпенко А.П. Современные алгоритмы поисковой оптимизации. Алгоритмы, вдохновленные природой: учебное пособие / А.П. Карпенко. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. 446 с.

15. Тутубалин П.И., Моисеев В.С. Вероятностные модели обеспечения информационной безопасности автоматизированных систем обработки информации и управления. Казань: Школа, 2008. 138 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Есиков Дмитрий Олегович, аспирант Тульского государственного университета, mcgeen4@gmail.com.

Акиншин Руслан Николаевич, доктор технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Секции прикладных проблем при Президиуме Российской академии наук, rakinshin@yandex.ru.

Абрамов Павел Иванович, кандидат технических наук, доцент, заместитель генерального директора по инновациям и гражданской продукции АО «НИИ "Полус им. М.Ф. Стальмаха», ap-03@yandex.ru.

Лутина Лилия Эмильевна, кандидат технических наук, доцент кафедры организации перевозок на воздушном транспорте, loutin@yandex.ru.

MATHEMATICAL MODELS OF CREATION OF A SUBSYSTEM OF ENSURING SAFETY OF INFORMATION IN THE DISTRIBUTED INFORMATION SYSTEMS

Dmitry O. Esikov¹, Ruslan N. Akinshin², Pavel I. Abramov³, Lily E. Loutina⁴

¹Tula State University, Tula, Russia

²SPP RAN, Moscow, Russia

³Joint Stock Company "Scientific research Institute "Polyus them M.F. Stelmakh",
Moscow, Russia

⁴Moscow State University of Civil Aviation, Moscow, Russia

ABSTRACT

Practical implementation of the concept of a distributed information system requires the implementation of a complex scientific-technical problems related to the choice of composition and use of storage and processing of information, creation and use of common data arrays, information security, etc. Fundamentally, a modern distributed information system is a system of communication and information transmission as well as a storage and data processing system. Storage and data processing system is designed for organization of reliable and fault-tolerant data storage, high-performance servers to access storage devices and information processing. The measure of quality, and in some cases indicator of functioning of data storage and processing system is proposed. The tasks that need to be tackled when constructing and operating the storage and processing requirements of highly reliable data storage, as well as their following configurations: determination of the number and location of centers of data storage and processing in distributed information systems; choice of the composition of the complex used for storage in the storage centers and data processing, with the organization of a backup subsystem, the backup and restore data. The task of storage structure optimization according to the criterion of maximum values of the readiness factor of the storage system is formed. This problem is reduced to the kind of problems of integer linear programming with Boolean variables, this fact allows to apply the existing methods for its solution. A method for determining the rational level of expenditure on the formation of the complex used for storage in the storage and data processing system based on the use of elements of probability theory and the theory of well-being (the principle of Pareto optimality) is developed. The optimal solution of the problem by optimizing a linear convolution is obtained.

Key words: mathematical models, distributed information systems, information security, data storage and processing system.

REFERENCES

1. Broydo V.L. *Vychislitel'nye sistemy, seti i telekommunikatsii* [Computing systems, networks and telecommunications]. Textbook for universities. SPb., Peter, 2006, 703 p. (in Russian)
2. Kireev V.V. *Vychislitel'nye sistemy* [Computing systems]. M., Gelios ARV, 2004, 512 p. (in Russian)
3. Nike D. *Sistemy khraneniya dannykh v Windows* [Storage in Windows]. M., Williams, 2005, 419 p. (in Russian)
4. Nikolaev V.I., Brooke V.M. *Sistemotekhnika: metody i prilozheniya* [Systems Engineering: methods and applications]. L., Engineering, 1985, 199 p. (in Russian)
5. Voronin A.A., Morozov I.B. *Nadezhnost' informatsionnykh sistem* [Reliability of information systems]. Textbook. SPb., SPbSTU, 2001. (in Russian)
6. Esikov D.O. *Obespechenie ustoychivogo funktsionirovaniya vychislitel'nykh sistem za schet obespecheniya vysokonadezhnogo khraneniya dannykh* [Towards sustainable computing systems by providing viscondessa storage]. Papers of the fifteenth international scientific-practical conference "Fundamental and applied research, development and application of high technologies in industry", Saint-Petersburg. Spb., Publishing house Polytechnic. the unit, 2013. (in Russian)
7. Kiselev D.V., Esikov O.V., Kislitsyn A.S. *Teoreticheskie osnovy optimizatsii informatsionno-vychislitel'nogo protsessa i sostava kompleksov sredstv zashchity informatsii v vychislitel'nykh setyakh* [Theoretical bases of optimization of computing process and structure of complexes of protec-

tion of information in computer networks]. Ed. by E. Sukhareva. M., Poligrafservis twenty-first century, 2003, 198 p. (in Russian)

8. Yesikov D.O. Increase of level of stability of functioning of systems of storage and data processing at the expense of realization of actions for ensuring safety of information. Third International Conference "High Performance Computing" HPC-UA 2013 (Ukraine, Kyiv, October 7–11, 2013). Kyiv. 2013, pp. 416–420.

9. Esikov O.V., Savateev S.S., Esikov D.O., Strukov A.V., Sukharev E.M. *Matematicheskie modeli, metodiki i algoritmy obespecheniya ustoychivosti funktsionirovaniya sovremennykh sistem khraneniya i obrabotki dannykh* [Mathematical models, methods and algorithms of maintenance of stable functioning of modern systems of storing and processing data]. Nonlinear world, 2013, No. 9, pp. 621–631. (in Russian)

10. Esikov D.O. *Zadachi obespecheniya ustoychivosti funktsionirovaniya raspredelennykh informatsionnykh sistem* [The problem of ensuring stability of functioning of distributed information systems]. Journal Software and systems, 2015, No. 4 (112). (in Russian)

11. Ivutin A., Yesikov D. Complex of Mathematical Models to Ensuring Sustainability of the Distributed Information Systems. 4rd Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO) – 2015 June 14–18 2015, Budva. Montenegro, 2015, pp. 106–109. DOI: 10.1109/MECO.2015.7181878 (Scopus и Web of Science)

12. Yesikov D.O., Ivutin A.N., Larkin E.V., Kotov V.V. Multi-agent Approach for Distributed Information Systems Reliability Prediction. Procedia Computer Science, 2017, Vol. 103. pp. 416–420.

13. Yesikov D.O., Ivutin A.N. Rational values of parameters of island genetic algorithms for the effective solution of problems of ensuring stability of functioning of the distributed information systems. 12–16 June 2016, 5th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO). 2016, pp. 309–312. DOI: 10.1109/MECO.2016.7525769 (SCOPUS, Web of Science)

14. Karpenko A.P. *Sovremennye algoritmy poiskovoy optimizatsii. Algoritmy, vdokhnovlennyye prirodoy* [Modern algorithms of search engine optimization. Algorithms inspired by nature]. Textbook. M., Publishing house of MGTU im. N.E. Bauman, 2014, 446 p. (in Russian)

15. Tutubalin P.I., Moiseev V.S. *Veroyatnostnyye modeli obespecheniya informatsionnoy bezopasnosti avtomatizirovannykh sistem obrabotki informatsii i upravleniya* [Probabilistic models of information security in automated systems information processing and management]. Kazan, School, 2008, 138 p. (in Russian)

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Dmitry O. Esikov, Postgraduate student of the Tula State University, mcgeen4@gmail.com.

Ruslan N. Akinshin, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Leading Researcher of Section of Applied Problems under the Presidium of the Russian Academy of Sciences, rakinshin@yandex.ru.

Pavel I. Abramov, candidate of technical Sciences, associate Professor, Deputy Director General for innovation and civil products of JSC "research Institute "Polyus them.M.F.Stelmakh", api-03@yandex.ru.

Lily E. Loutina, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor of Organization of business processes in aviation industry Chair, Moscow State Technical University of Civil Aviation loutin@yandex.ru.

Поступила в редакцию 06.07.2017
Принята в печать 20.09.2017

Received 06.07.2017
Accepted for publication 20.09.2017