

УДК: 004.942

**МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К МАТЕМАТИЧЕСКОМУ ОПИСАНИЮ
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СЕТИ
РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ГЕТЕРОГЕННЫМИ
ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ
В ИНТЕРЕСАХ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ И ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ
СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

**METHODOLOGICAL APPROACH TO THE MATHEMATICAL DESCRIPTION
OF THE FUNCTIONING OF THE INFORMATION MANAGEMENT NETWORK
BY DISTRIBUTED HETEROGENEOUS INFORMATION AND COMPUTING
RESOURCES IN THE INTERESTS OF THE SUPPORT SYSTEM
AND DECISION-MAKING FOR SPECIAL PURPOSES**

Д-р техн. наук В.Д. Лиференко¹, канд. техн. наук К.Е. Легков², Д.А. Гураль²

DPhil V.D. Liferenko, PhD K.E. Legkov, D.A. Gural

¹ОАО «СУПЕРТЕЛ», ²ВКА им. А.Ф. Можайского

В настоящее время управление сложными организационно-техническими объектами тяжело представить без автоматизированной системы управления опирающейся на информационную подсистему. В свою очередь для организации эффективной работы с информационной подсистемой необходимо создание информационно-управляющей сети. В данной статье предложен методический подход к математическому описанию функционирования информационно-управляющей сети распределенными гетерогенными информационно-вычислительными ресурсами в интересах системы поддержки и принятия решения специального назначения. Обоснована необходимость создания информационно-управляющей сети для обеспечения требуемых значений показателя устойчивости функционирования информационной подсистемы Единого информационного пространства специального назначения.

Ключевые слова: информационно-управляющая сеть, автоматизированная система управления, единое информационное пространство, система поддержки и принятия решения, виртуальный цифровой канал, информационная подсистема специального назначения.

Currently, management of complex organizational and technical objects is difficult to imagine without an automated management system based on an information subsystem. In turn, to organize effective work with the information subsystem, it is necessary to create an information management network. This article offers a methodological approach to the mathematical description of the functioning of an information management network with distributed heterogeneous information and computing resources in the interests of a special-purpose support and decision-making system. The necessity of creating an information management network to provide the required values of the stability indicator for the functioning of the information subsystem of the Unified information space for special purposes is justified.

Keywords: information management network, automated control system, unified information space, support and decision making system, virtual digital channel, information subsystem for special purposes.

Введение

В современных условиях быстро меняющейся обстановки, должностным лицам органов управления (ДЛ ОУ) необходимо оперативно принимать обоснованные решения по управлению вооружением и военной техникой специального назначения, опираясь на актуальные и достоверные данные о существующей ситуации и состоянии управляемых специальных систем, для чего создается система поддержки и принятия решения (СППР), функционирующая в Едином информационном пространстве специального назначения (ЕИП СН). Для предоставления данных отвечающих этим критериям, проведения систематизации, предварительного анализа и выработки типовых решений на управление создается информационная подсистема (ИПС), на основе существующих распределенных гетерогенных информационно-вычислительных ресурсов в составе ЕИП СН, управляемая наложенной информационно-управляющей сетью специального назначения (ИУС СН).

Методический подход к математическому описанию функционирования информационно-управляющей сети распределенными гетерогенными информационно-вычислительными ресурсами

Одним из важнейших показателей функционирования информационной подсистемы ЕИП СН работающей в интересах СППР СН является поддержание высокой устойчивости системы в условиях преднамеренных воздействий злоумышленников с применением современных информационных технологий (компьютерных атак) [1]. Обеспечить требуемые значения этого показателя невозможно без организации автоматизированной системы управления (АСУ), которая обеспечивает информационный обмен между распределенными гетерогенными информационно-вычислительными ресурсами (узлами предоставления информации (УПИ)), в том числе комплексами средств автоматизации (КСА), информационными системами пунктов (центров) управления и автоматизированными рабочими местами (АРМ) должностных лиц органов управления. Для выполнения этой задачи создается ин-

формационная управляющая сеть (ИУС) информационной подсистемой (ИПС) ЕИП СН, функционирующая в интересах СППР (рис. 1).

Структуру ИУС СН возможно описать графом $G_{ICS}(Y_a, H_b)$, где Y_a — множество узлов предоставления информации для СППР, а H_b — множество виртуальных информационных направлений между этими узлами [2, 7].

Запрос на предоставление определенной информации с единичного УПИ, как правило, будет проходить через сеть распределенных, гетерогенных узлов (узлов под управлением различных операционных систем, использующих разные стандарты получения и обработки информации). При этом процесс отправки запроса на получение определенной информации центром управления и выполнение запроса УПИ можно представить в виде обмена данными между этими узлами (рис. 2).

Для упрощения формализованного предоставления информационного обмена между комплексами средств автоматизации ЕИП СН — потребителями информации и единичными УПИ, с учетом специфики обмена данными, можно представить в виде двухполюсного виртуального компонента (рис. 3) [3, 6].

При информационном обмене между потребителями и получателями информации УПИ соединяются виртуальным цифровым каналом только на время обмена информацией с определенными параметрами передачи и обработки информации.

Исходя из предложенного подхода к формализации для компонента ИПС ЕИП СН введем интенсивность нагрузки на ИУС (среднее количество запросов на получение информации поступающих за единицу времени). Следовательно, поток запросов на получение информации характеризуется определенной интенсивностью. Таким образом можно считать, что:

ρ_{ui} — нагрузка управляющих сообщений (поток поступающих в сеть управляющих сообщений на передачу информации);

λ_{uico} — интенсивность обслуженных запросов (поток запросов, которые обслужили УПИ);

γ_{ui} — нагрузка или производительность элемента обслуживания;

λ_{uil} — интенсивность невыполненных запросов на обмен информацией (несвоевременно выполненных или полностью потерянных запросов);

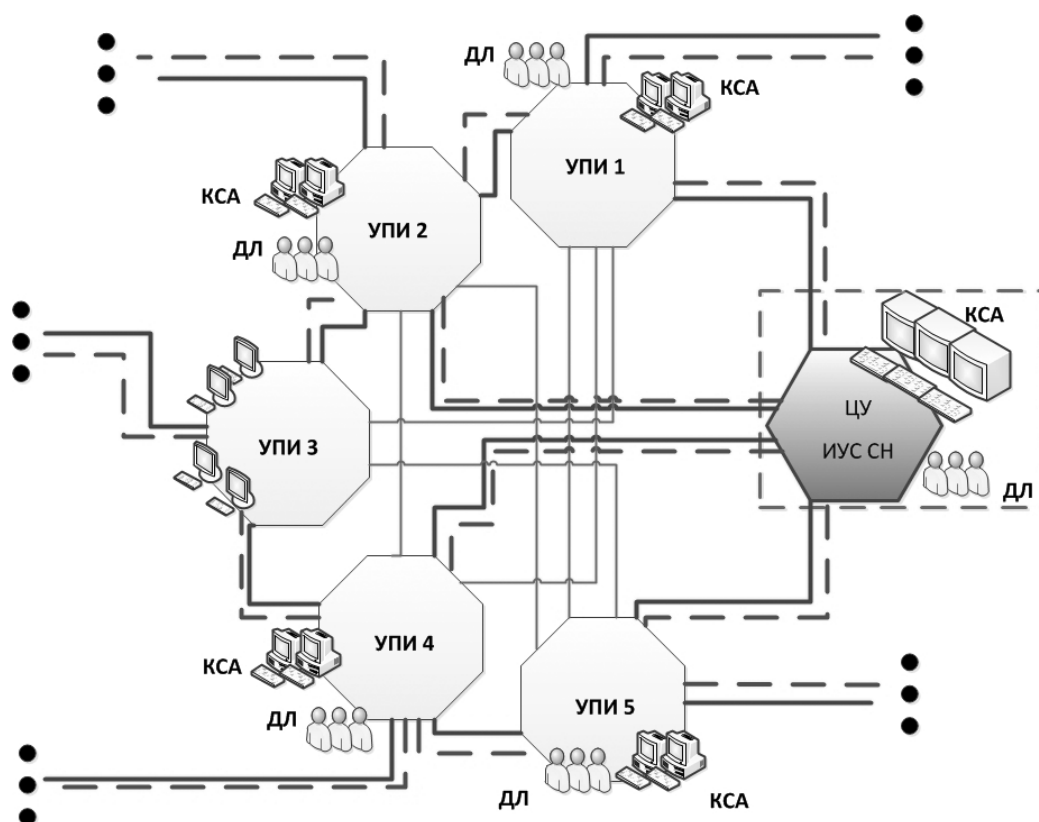


Рис. 1. Формализованная схема информационной управляющей сети ИПС ЕИП СН, функционирующей в интересах СППР

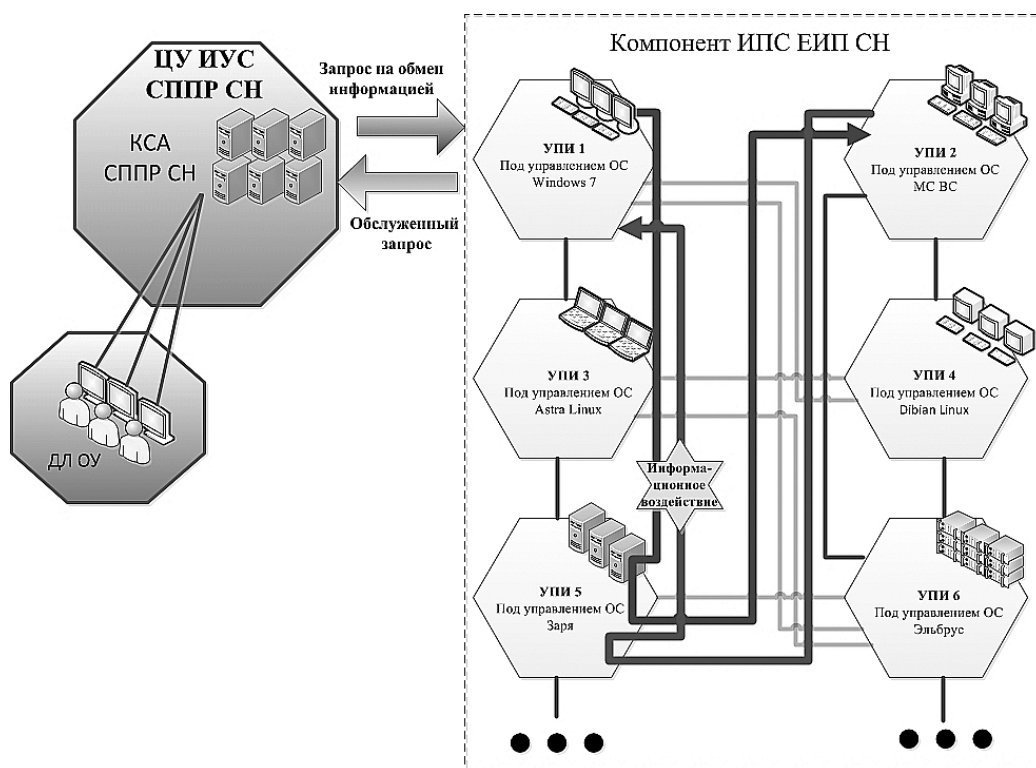


Рис. 2. Формализованная схема обмена информацией через компонент ИПС ЕИП СН

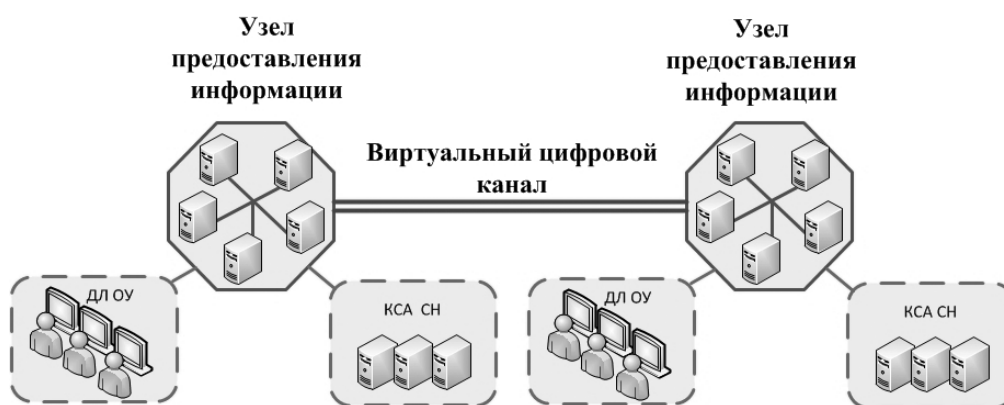


Рис. 3. Двухполюсная виртуальная сеть обслуживания информационной управляющей сети ИПС ЕИП СН

λ_{ui} — соответствующая нагрузка.

Перечисленные элементы можно связать соответствующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} p_{ui} = \lambda_{ui} / \mu_{ui} \\ y_{ui} = \lambda_{uico} / \mu_{ui} \\ \chi_{ui} = \lambda_{ui} / \mu_{ui} \\ \rho_{ui} = \lambda_{ui} + \chi_{ui} \end{array} \right\} \forall \lambda_{ui} = \lambda_{uico} + \lambda_{uil}.$$

По числу потенциальных потребителей N_{ICS} и удельной интенсивности нагрузки выделяемой на каждого потребителя p_{uia} , y_{uia} , χ_{uia} информации можно вычислить интенсивность нагрузки:

$$\rho_{ui} = \frac{N_{ICS} p_{uia}}{2}; y_{ui} = \frac{N_{ICS} y_{uia}}{2}; \chi_{ui} = \frac{N_{ICS} \chi_{uia}}{2}.$$

Поток запросов и нагрузка на УПИ изменяются во времени и часто характер этого изменения может быть непредсказуемым, но он зависит от применяемых методов управления [10, 12, 14].

Устойчивость любой системы определяется ее живучестью, надежностью, информационной и помеховой защищенностью. Используя показательный закон распределения интервалов времени исправной работы и интервалов времени на восстановление, функции распределения интенсивности будут иметь следующий вид:

$$Y(t) = 1 - e^{-y_{kdv} t};$$

$$B(t) = 1 - e^{-b_{kdv} t}.$$

Соответственно можно вычислить математическое ожидание времени исправной работы

и времени восстановления двухполюсного компонента.

$$T_{kdo} = \int_0^{\infty} e^{-y_{kdv} t} dt = \frac{1}{y_{kdv}};$$

$$T_{kdp} = \int_0^{\infty} e^{-b_{kdv} t} dt = \frac{1}{b_{kdv}};$$

где y_{kdv} — интенсивность выхода из строя ($y_{kdv} = y_{kdvo} + y_{kdvia}$);

b_{kdv} — интенсивность восстановления ($b_{kdv} = b_{kdreco} + b_{kdrecia}$);

При этом, учитывая весь комплекс воздействий на узел предоставления информации, можно выразит его коэффициент оперативной готовности через T_{kdo} , T_{kdp} или $y_{kdv} = y_{kdvo} + y_{kdvia}$ и $b_{kdv} = b_{kdreco} + b_{kdrecia}$:

$$k_G = \frac{T_o}{T_o + T_p} = \frac{(y_{kdvo} + y_{kdvia})^{-1}}{(y_{kdvo} + y_{kdvia})^{-1} + (b_{kdreco} + b_{kdrecia})^{-1}},$$

и коэффициент простоя (относительно неработоспособного состояния):

$$k_P = \frac{T_L}{T_o + T_p} = \frac{(y_{kdreco} + y_{kdrecia})^{-1}}{(y_{kdvo} + y_{kdvia})^{-1} + (b_{kdreco} + b_{kdrecia})^{-1}},$$

где y_{kdvo} — интенсивность выхода из строя под воздействием потока отказов;

y_{kdvia} — интенсивность выхода из строя при информационных воздействиях;

b_{kdreco} — интенсивность восстановления после воздействия потока отказов;

$b_{kdrecia}$ — интенсивность восстановления после влияния информационных воздействий.

Для реализации возможности ИУС ИПС ЕИП СН предоставлять более сложные услуги (многоэтапное соединение процессов или мультикастинг), элементы (модули) сети соединяются по последовательной или параллельной схеме подключения [4, 5, 8].

Устойчивость сложного компонента с последовательным подключением элементов ИУС примет вид:

$$k_{kdGmult} = \prod_{Z=1}^m \frac{T_{kdo}(z)}{T_{kdo}(z) + T_{kdp}(z)} \quad \forall Z = \overline{1, m}.$$

Особенности наложения IP-сети на базовую транспортную сеть позволяют считать, что узлы предоставления информации между собой не коррелированы для одного интервала управления информационной сети. Тогда:

$$T_{kdo} = \frac{1}{\sum_{s=1}^{kd} \frac{1}{T_{kdoS}}};$$

$$T_{kdp} = \frac{\left(1 - \prod_{s=1}^m K_{kdGs}\right)}{\left(\sum_{s=1}^{m_{kd}} Y_{kds} \prod_{s=1}^m K_{kdGs}\right)}.$$

Устойчивость сложного компонента с параллельным подключением элементов ИУС примет вид:

$$K_{kdp} = \prod_{Z=1}^m K_{kdp_i}, i = \overline{1, s}.$$

При отсутствии корреляций между воздействиями:

$$T_p(z, m) = \left[\sum_{i=1}^s \frac{1}{T_{Pi}(z, m)} \right]^{-1},$$

$$T_p(z, m) =$$

$$= \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^s \frac{1}{T_{Pi}(z, m)}} - \prod_{i=1}^s K_{ni}(z, m) \frac{1}{\sum_{i=1}^s \frac{1}{T_{Pi}(z, m)}} \right) \times \left(\prod_{i=1}^s K_{ni}(z, m) \right)^{-1}.$$

В данной модели рассмотрена сеть, в которой ИУС не имеет подсистему контроля работоспособности УПИ [9, 11]. Такая подсистема контроля способна фиксировать отказы УПИ с некоторой вероятностью $P(t) < 1$, отказавшие узлы незафиксированные системой контроля обнаруживаются со случайной задержкой времени, которую необходимо прибавить ко времени простоя системы:

$$t_n = t_v + \eta,$$

где t_v — время восстановления работоспособности после обнаружения отказа;

η — время необходимое для обнаружения отказа.

Математическое ожидание для известных законов распределения случайных величин t_v и η может быть представлено как:

$$M[t_v + \eta] = M[t_v] + M[\eta] = t_v^* + \eta.$$

Выводы

Несмотря на сложность обеспечения требуемых значений показателя устойчивости функционирования информационной подсистемы Единого информационного пространства специального назначения с наложением информационной управляющей сети с распределенными гетерогенными информационно-вычислительными ресурсами в интересах системы поддержки и принятия решения специального назначения в сложных условиях, необходимо обеспечить передачу требуемого объема информации с высокими критериями качества от узлов предоставления информации в центр управления в условиях возможных воздействий на средства системы. Это возможно обеспечить только при наличии

гибкой системы автоматизированного управления, реализующей эффективные методы управления, и при организации качественного обмена информацией. Этот обмен управляющей информацией и должна обеспечить специальная организованная сеть управления.

Литература

1. Буренин А.Н., Легков К.Е. Обеспечение эффективного функционирования информационных подсистем автоматизированных систем управления сложными организационно-техническими объектами на основе процедур оперативного управления ресурсами информационных служб // *Информация и космос*. 2017. № 3. С. 64–72.

2. Гмурман В.Е. Теория вероятностей. Математическая статистика. — М.: Высшая школа. 2004. 480 с.

3. Лазарев А.А., Гафаров Е.Р. Теория расписаний. Задачи и алгоритмы. — М.: МГУ им. М.В. Ломоносова. 2011. 222 с.

4. Барабаш П.А., Воробьев С.П., Курносов В.И., Советов Б.Я. Информационные технологии в глобальной информационной инфраструктуре. — СПб.: ООО Наука. 2008. 552 с.

5. Тихвинский В.О., Коваль В.А., Бочечка Г.С., Бабин А.И. Сети IoT/M2M технологии, архитектура и приложения. — М.: ООО Медиа Паблиш. 2017. 320 с.

6. Басыров А.Г. и др. Метод эвристико-комбинированного решения трудоемких задач в параллельных вычислительных системах реального времени // *T-Comm: Телекоммуникации и транспорт*. 2019. № 3. С. 52–56.

7. Оркин В.В. и др. Алгоритм выбора процедур распределенного программного управления потоками заявок в информационной системе в условиях возмущений // *T-Comm: Телекоммуникации и транспорт*. 2018. № 10. С. 41–45.

8. Буренин А.Н., Легков К.Е. Метод повышения эффективности функционирования на основе процедур оперативного управления структурой информационных подсистем // *T-Comm: Телекоммуникации и транспорт*. 2017. № 9. С. 48–57.

9. Orkin V.V., Legkov K.E. Algorithm of selecting procedures of distributed program control by applications flows in the information system in conditions of perturbations // *2018 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing*

in Telecommunications. SYNCHROINFO. 2018. С. 8456942.

10. Буренин А.Н., Оркин В.В. и др. Управление инцидентами при обеспечении безопасности информационных подсистем автоматизированных систем управления сложными организационно-техническими объектами // *Инфокоммуникационные технологии*. 2018. № 1. С. 121–122.

11. Емельянов А.В., Левко И.В. и др. Методика оперативного решения информационно-расчетных задач программно-техническим комплексом на основе рационального распределения информационно-вычислительных ресурсов // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2018. № 4. С. 129–134.

12. Емельянов А.В. и др. Имитационная модель процесса функционирования программно-технического комплекса при решении разнородных информационно-расчетных задач // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2018. № 4. С. 135–141.

13. Легков К.Е., Буренин А.Н. Модели процессов организации обработки оперативной информации современными вычислительными комплексами в условиях противодействий // *Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму*. 2018. № 3–4 (117–118). С. 87–95.

14. Легков К.Е., Буренин А.Н. Формализация управления структурными параметрами для процессов подключения пользователей информационной подсистемы автоматизированной системы управления сложными организационно-техническими системами // *Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму*. 2017. № 11–12 (113–114). С. 39–43.

References

1. Burenin A.N., Legkov K.E. Ensuring the effective functioning of information subsystems of automated control systems for complex organizational and technical objects based on procedures for operational management of information services resources // *Information and space*. 2017. №. 3. P. 64–72.

2. Gmurman V.E. Probability theory. Mathematical statistics. — М.: Higher school. 2004. 480 p.

3. Lazarev A.A., Gafarov E.R. Theory of schedules. Problems and algorithms. — M.: Moscow state University named after M.V. Lomonosov. 2011. 222 p.
4. Barabash P.A., Vorobyov S.P., Kurnosov V.I., Sovetov B.Ya. Information technologies in the global information infrastructure. — Saint-Petersburg: Nauka LLC. 2008. 552 p.
5. Tikhvinsky V.O., Koval V.A., Bochochka G.S., Babin A.I. Networks of IoT/M2M technologies, architecture and applications. — Moscow: Media Publishing LLC. 2017. 320 p.
6. Basyrov A.G. other. Method of heuristic-combined solution of labor-intensive problems in parallel real-time computing systems // T-Comm: Telecommunications and transport. 2019. № 3. P. 52–56.
7. Orkin V.V. other. Algorithm for selecting procedures for distributed software control of application flows in an information system under perturbation conditions // T-Comm: Telecommunications and transport. 2018. № 10. P. 41–45.
8. Burenin A.N., Legkov K.E. Method for improving the efficiency of functioning based on procedures for operational management of the structure of information subsystems // T-Comm: Telecommunications and transport. 2017. № 9. P. 48–57.
9. Orkin V.V., Legkov K.E. Algorithm of selecting procedures of distributed program control by applications flows in the information system in conditions of perturbations // 2018 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications. SYNCHROINFO. 2018. P. 8456942.
10. Burenin A.N., Orkin V.V. other. Incident Management in ensuring the security of information subsystems of automated control systems for complex organizational and technical objects // infocommunication technologies. 2018. № 1. P. 121–122.
11. Emelyanov A.V., Legkov K.E. other. Method of operational solution of information and calculation problems by software and hardware complex based on rational distribution of information and computing resources // Proceedings of the Tula state University. Technical Sciences. 2018. № 4. P. 129–134.
12. Emelyanov A.V. other. Simulation model of the software and hardware complex functioning process in solving heterogeneous information and calculation problems // Proceedings of the Tula state University. Technical Sciences. 2018. № 4. P. 135–141.
13. Legkov K.E., Burenin A.N. Models of processes for organizing processing of operational information by modern computing complexes in the conditions of counteractions // Military Engineering. Counter-terrorism technical devices. Issue 16. 2018. № 3–4 (117–118). P. 87–95.
14. Legkov K.E., Burenin A.N. Formalization of management of structural parameters for the processes of connecting users of the information subsystem of the automated control system for complex organizational and technical systems // Military Engineering. Counter-terrorism technical devices. Issue 16. 2017. № 11–12 (113–114). P. 39–43.