

ЗАДАЧА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ В СЕТЕВОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ

В. Е. Дидрих, И. В. Дидрих, Ю. Ю. Громов, М. А. Ивановский

*Кафедра «Информационные системы и защита информации»,
ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия; didr-irina@yandex.ru*

Ключевые слова: распределение функций (задач); сетевая информационная система; структурная оптимизация.

Аннотация: Рассмотрены постановка и решение задач распределения ресурсов в сетевых информационных системах и их координации. Сформулирована задача оптимизации структуры сетевой информационной системы в аспекте оптимального распределения функций (функциональных задач) между узлами системы. Приведен пример поиска оптимального решения с использованием варианта «жадного» алгоритма метода ветвей и границ. Показаны трудности поиска оптимального решения в силу большой размерности задач, наличия существенного числа случайных факторов из-за векторного характера показателя эффективности.

Постановки и решения задач выбора и распределения ресурсов в сложных технических и сетевых информационных системах рассмотрены в работах [1 – 10]. Однако в них не уделено внимание вопросам оптимизации структуры сетевой информационной системы (СИС) управления в аспектах: 1) выбора задач управления, возлагаемых на технические средства; 2) определения комплекса технических средств в узлах системы и их взаимосвязей; 3) формирования общей структуры системы и распределения выбранных задач по узлам и уровням системы; 4) выбора алгоритмов их реализации.

Этапы создания СИС взаимосвязаны, и задачи каждого из них решаются с учетом ресурсов, выделяемых на создание системы. Выбранная структура системы считается оптимальной, если достигается максимум (минимум) выбранного показателя эффективности, отражающего основные свойства системы с точки зрения выполнения поставленных задач. На этапе структурного синтеза функции системы представляются в виде совокупности взаимосвязанных задач, которые, в свою очередь, могут быть разбиты на совокупности операций. По известным характеристикам операций и их взаимосвязей могут быть получены соответствующие параметры.

При формализации взаимосвязей между функциями обычно учитываются порядок следования операций и их длительности (временные связи), а также объемы обмениваемой информации (объемные связи). Формализация взаимосвязей обычно производится на основе теории графов. Существующие постановки задачи синтеза структуры СИС различаются следующим образом:

– заданы или подлежат выбору множество задач и взаимосвязи между ними (временные, объемные, объемно-временные), а также элементы системы (комплекс технических средств) и связи между данными элементами;

– учитываются или не учитываются территориальное расположение элементов и возможность выполнения задачи в нескольких элементах (распараллеливание выполнения задачи).

Одновременно уже формализованные постановки задачи структурного синтеза различаются:

– видом показателей эффективности;

– типом учитываемых характеристик элементов;

– видом ограничений, накладываемых на учитываемые ресурсы (временные, технико-экономические и т.д.).

Будем считать, что топология размещения возможных узлов СИС управления известна, их функции перечислены в виде последовательности задач, которые необходимо распределить между узлами. Тогда при построении логической структуры СИС необходимо распределить функции (задачи) ($i = 1, 2, \dots, I$) между узлами управления ($j = 1, 2, \dots, J$), выбрать алгоритмические способы реализации функций ($k = 1, 2, \dots, K$), типы технических средств в узлах системы ($l = 1, 2, \dots, L$) и вариант организации канала связи между узлами. Должны учитываться такие технико-экономические характеристики системы, как затраты на создание A и эксплуатацию B , оперативность, которая характеризует длительность выполнения цикла управления T , надежность системы P и др.

Для формализации постановки задачи введем переменные: $x_{ikjl} = 1$, если i -я задача решается по k -му варианту в j -м узле при помощи l -го технического средства; $x_{jl} = 1$, если j -й узел оборудуется l -м техническим средством; $x_{jj'} = 1$, если необходимо задать канал связи между узлами j и j' ; $x_{ikjl} = x_{jl} = x_{jj'} = 0$ – в противном случае. Тот факт, что каждый вариант построения структуры должен включать в себя лишь один из способов распределения задач по узлам системы и один способ выполнения каждой задачи, с учетом ограничений

$$\sum_{k,j,l} x_{ikjl} = 1, \quad i = \overline{1, I}.$$

Переменные x_{jl} , $x_{jj'}$ зависят от x_{ikjl} и используются для удобства записи аналитических выражений расчета различных характеристик вариантов структуры:

$$x_{jl} = \begin{cases} 1, & \text{если } \sum_{i,k} x_{ikjl} \geq 1; \\ 0, & \text{если } \sum_{i,k} x_{ikjl} = 0, \end{cases}$$

$$x_{jj'} = \begin{cases} 1, & \text{если } \sum_{i,k,i',k',l,l'} x_{ikjl} x_{i'k'j'l'} \geq 1; \\ 0, & \text{если } \sum_{i,k,i',k',l,l'} x_{ikjl} x_{i'k'j'l'} = 0. \end{cases}$$

Для определения характеристик вариантов структуры введем следующие обозначения: A_i – стоимость технического средства l либо затраты на разработку и изготовление перспективных средств; $A_{jj'}$ – стоимость создания канала связи,

включающая в себя стоимость технических средств приема и передачи информации между узлами j и j' ; A_{ikjl} – затраты на разработку информационного и математического обеспечения решений i -й задачи в k -м варианте в j -м узле при наличии l -го технического средства; B_{ikjl} – эксплуатационные затраты на решение i -й задачи в k -м варианте в j -м узле при наличии l -го технического средства; $B_{ij(i+1)j'}$ – затраты на передачу информации от i -й задачи, решаемой в j -м узле, к $(i+1)$ -й задаче, решаемой в j' -м узле; t_{ikjl} – время решения i -й задачи k -м способом в j -м узле при наличии l -го технического средства; $t_{ij(i+1)j'}$ – время передачи информации от i -й задачи, решаемой в j -м узле; P_{ikjl} – надежность решения задачи (технического средства), определяемая либо вероятностью безотказной работы, либо ее функцией; $P_{il(i+1)j'}$ – надежность передачи информации (канала связи), определяемая как потребление технического средства.

Капитальные затраты A включают в себя стоимость технических средств в узлах, стоимость создания каналов связи между узлами СИС, затраты на разработку алгоритмов выполнения задач

$$A = \sum_{l,i} A_i x_{ij} + \sum_{i,j'} A_{jj'} x_{jj'} + \sum_{i,k,j,l} A_{ikjl} x_{ikjl}.$$

Эксплуатационные затраты B включают в себя затраты на выполнение задач управления и затраты на передачу информации между узлами СИС

$$B = \sum_{i,k,j,l} B_{ikjl} x_{ikjl} + \sum_{k',i,j,j',l'} B_{ij(i+1)j'} x_{(i+1)k'j'l'}.$$

Время выполнения цикла управления, характеризующее оперативность управления, вычисляется аналогично

$$T = \sum_{i,k,j,l} t_{ikjl} x_{ikjl} + \sum_{k',j,j',i,l'} t_{ij(i+1)j'} x_{(i+1)k'j'l'}.$$

При определении надежности СИС будем считать систему невозстанавливаемой, в результате чего ее надежность определяется как произведение вероятностей безотказной работы элементов

$$\bar{P} = \sum_{i,j,k,l} \bar{P}_{ikjl} x_{ikjl} + \sum_{k',i,j,j',l'} \bar{P}_{ij(i+1)k'j'l'},$$

где \bar{P} , \bar{P}_{ikjl} , $\bar{P}_{ij(i+1)j'}$ – логарифмы соответствующих величин.

В общем виде задача оптимизации структуры СЦС ЭУ выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned} f(x_{ikjl}, x_{jj'}) &\Rightarrow \min(\max)_{x \in X}; \\ f_s(x_{ikjl}, x_{jl}, x_{jj'}) &\leq D_s, \quad s = 1, 2, \dots, S; \\ \sum_{k,j,l} x_{ikjl} &= 1, \quad i = 1, 2, \dots, I; \\ x_{ikjl} &= (0;1); \quad x_{jl} = (0;1); \quad x_{jj'} = (0;1), \end{aligned}$$

где X – область допустимых значений переменных оптимизации.

Из приведенной постановки задачи следует, что она относится к классу дискретного программирования и носит комбинаторный характер. При решении таких задач возникают трудности принципиального характера, а именно, необходимо исключать явный перебор всех допустимых решений и стремиться к эффективному частичному перебору сравнительно малого числа допустимых вариантов решения соответствующей задачи и неявному перебору остальных. В качестве базового подхода может быть использован принцип построения «жадного» алгоритма, позволяющего сократить процедуру перебора в процессе оптимизации.

Пример посвящен распределению задач по узлам подсистемы управления СИС. Задано множество задач, реализуемых в СИС ($i = 1, 2, \dots, I$); задано множество узлов подсистемы управления ($j = 1, 2, \dots, J$). Необходимо так распределить задачи по узлам подсистемы, чтобы достигнуть максимального значения эффективности, не выходя из области допустимых ограничений.

Пусть c_{ij} – затраты на реализацию i -й задачи в j -м узле, t_{ij} – время решения задачи в j -м узле. Введем дополнительную переменную x_{ij} ; $x_{ij} = 1$, если i -я задача выполняется в j -м узле, и $x_{ij} = 0$ в противном случае. Оптимизация распределения задач по узлам может производиться по одной из следующих целевых функций:

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J c_{ij} x_{ij} \Rightarrow \min, \quad x_{ij} \in X; \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J t_{ij} x_{ij} \Rightarrow \min, \quad x_{ij} \in X; \quad (2)$$

$$\left[\max_j \left(\sum_{i=1}^I t_{ij} x_{ij} \right) \right] \Rightarrow \min, \quad x_{ij} \in X; \quad i = \overline{1, I}; \quad j = \overline{1, J}. \quad (3)$$

Функция (1) соответствует минимизации затрат, (2) – минимизации общего решения задачи, (3) – минимизации максимального времени решения задачи в узле. При этом могут учитываться следующие ограничения:

- а) связи между задачами (задаются графом $G(I)$, где I – множество задач);
- б) связи между узлами, в которых находятся элементы (задаются графом $G(J)$, где J – множество узлов);
- в) общего время решения всех задач:

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J t_{ij} x_{ij} \leq T_3,$$

если минимизируются затраты, либо ограничение на общие затраты по реализации задач в СИС;

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J c_{ij} x_{ij} \leq c_3,$$

если минимизируется время решения всех задач;

- г) загрузки каждого узла

$$\sum_{i=1}^I \lambda_i t_{ij} x_{ij} \leq \rho_{3j}, \quad j = \overline{1, J},$$

где λ_i – интенсивность поступления i -й задачи на решение; ρ_{3j} – допустимая загрузка j -го узла;

д) если каждая задача решается только в одном узле, то

$$\sum_{j=1}^J x_{ij}, \quad i = \overline{1, I}.$$

В зависимости от того, как выбрана целевая функция и какие ограничения учитываются, возникает ряд частных постановок задачи оптимального распределения по узлам.

Минимизация общих затрат (общего времени) при ограничениях на нагрузку каждого из узлов и при условии, что каждая задача решается только в одном узле подсистемы:

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J c_{ij} x_{ij} \Rightarrow \min_{x_{ij}} \quad x_{ij} \in X,$$

либо

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J t_{ij} x_{ij} \Rightarrow \min_{x_{ij}} \quad x_{ij} \in X,$$

при

$$\sum_{i=1}^I \lambda_i t_{ij} x_{ij} \leq \rho_{3j},$$

$$\sum_{j=1}^J x_{ij} = 1, \quad j = 1, 2, \dots, J; \quad i = 1, 2, \dots, I.$$

Минимизация общих затрат при ограничениях на общее время и при условии, что каждая задача решается только в одном узле подсистемы:

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J c_{ij} x_{ij} \Rightarrow \min_{x_{ij}} \quad x_{ij} \in X;$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J t_{ij} x_{ij} \leq T_3; \tag{4}$$

$$\sum_{j=1}^J x_{ij} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, I, \quad x_{ij} = (0; 1).$$

В дальнейшем рассмотрим только задачу (4). Дерево ветвления строится следующим образом. Подмножество первого уровня разбиения формируем, фиксируя соответствие первой задачи различным узлам ($X_1, X_2, \dots, X_{j_1}, \dots, X_j$). Подмножество X_{j_1} включает в себя все варианты, где первая задача решается в узле j_1 , а распределение остальных задач по узлам произвольное. Подмножества второго уровня $X_{j_1 j_2}$ формируем аналогично, фиксируя соответствие второй задачи различным узлам. Оно включает в себя все варианты решений, где первая задача решается в узле j_1 , вторая задача – в узле j_2 , остальные задачи имеют произвольное распределение по узлам и т.д.

Для каждого из подмножеств (вершин дерева) необходимо построить оценки целевой функции и ограничения для множества вариантов ($X_{j_1 j_2}, \dots, j_i, \dots, j_l$), общее выражение для которой в данной задаче строится следующим образом

$$V_c(X_{j_1 j_2, \dots, j_i, \dots, j_l}) = \sum_{i \leq l} c_{ij_i} + \sum_{i > l} \min_i c_{ij_i}, \tag{5}$$

а общее выражение для оценки ограничения может быть построено аналогично

$$V_t(X_{j_1 j_2, \dots, j_i, \dots, j_l}) = \sum_{i \leq l} t_{ij_i} + \sum_{i > l} \min_j t_{ij}, \quad (6)$$

где $(j_1, j_2, \dots, j_i, \dots, j_l)$ – множество узлов подсистемы, закрепленных за соответствующими задачами $(1, 2, \dots, i, \dots, l)$.

Оценка функции ограничения (6) необходима в данном случае для исключения из процесса ветвления множества заведомо не подходящих вариантов с учетом принятого ограничения на общее время решения задач. Ускорение процесса поиска проводят при дополнительных приемах, учитывающих специфику задачи.

Так как каждая задача может решаться только в одном узле системы, то

$$\min_{x_{ij}} \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J c_{ij} x_{ij} = \sum_{i=1}^I \min_{x_{ij}} \sum_{j=1}^J c_{ij} x_{ij}.$$

Используя данное условие и принимая во внимание ограничение по времени, можно исключить из матриц **C** и **T** элементы в каждой строке, которые не влияют на выбор оптимального решения и удовлетворяют одновременно два следующих условия:

$$c_{ij} > \min_j c_{ij} = c_{is}; \quad t_{ij} > t_{is}.$$

Принимая во внимание ограничение по времени T_3 , можно из матриц **C**⁽⁰⁾ и **T**⁽⁰⁾ также вычеркнуть элементы, при которых всегда будет нарушено ограничение по времени. Распишем для выделения таких элементов данное ограничение в виде

$$\sum_{i=1}^{r-1} \min_j t_{ij} + t_{ji} + \sum_{j=r+1}^I \min_j t_{ij} \leq T_3. \quad (7)$$

Изменяя индекс строки r ($r = 1, 2, \dots, i, \dots, l$) и просматривая все ее элементы в соответствии с условием (7), можно еще раз преобразовать матрицы **C**⁽⁰⁾ и **T**⁽⁰⁾, вычеркнув их, если они имеются.

Решение задачи осуществляется на основе алгоритма ветвей и границ, причем учет специфики задачи значительно повышает эффективность вычислительной процедуры. В заключение отметим, что в ряде случаев структурный синтез хотя и может быть формализован в виде оптимальных задач дискретного программирования, однако он трудно разрешим в силу большой размерности задач, наличия существенного числа случайных факторов, из-за векторного характера показателя эффективности.

Список литературы

1. Энергосберегающие информационно-управляющие системы объектами малой энергетики / Ю. Ю. Громов [и др.]. – М. : Научтехлитиздат, 2010. – 202 с.
2. Оценка живучести сетцентрических структур для систем энергосберегающего управления / В. Е. Дидрих [и др.]. // Механизация строительства. – 2016. – Т. 77, № 2. – С. 20 – 23.
3. Модель выбора и распределения ресурсов сетцентрической системы энергосберегающего управления / М. А. Ивановский [и др.] // Механизация строительства. – 2016. – Т. 77, № 4. – С. 35 – 38.

4. Распределение ресурсов сетевых электротехнических систем / Ю. Ю. Громов [и др.]. – М. : Машиностроение, 2008. – 214 с.
 5. Borisenko, A. B. Parallel MPI-Implementation of the Branch-and-Bound Algorithm for Optimal Selection of Production Equipment / A. B. Borisenko, S. Gorlatch // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2016. – Т. 22, № 3. – С. 350 – 357. doi: 10.17277/vestnik.2016.03.pp.350-357
 6. Borisenko, A. B. Using Parallel Branch-and-Bound Algorithm on GPUs for Optimal Design of Multi-Product Batch Plants / A. B. Borisenko, M. Haidl, S. Gorlatch // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2015. – Т. 21, № 3. – С. 406 – 412. doi: 10.17277/vestnik.2015.03.pp.406-412
 7. Ауад, М. Модель распределения ресурсов в сетевых информационных структурах / М. Ауад, Ю. В. Минин, Ю. Ю. Громов // Вестн. Воронеж. института МВД России. – 2013. – № 4. – С. 215 – 220.
 8. Оптимизационные задачи выбора и распределения ресурсов в информационных системах / М. Ауад [и др.] // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2014. – № 1. – С. 43 – 46.
 9. К вопросу о моделировании процесса распределения ресурсов в информационных системах для объектов стратегического значения (Часть 1. Постановка задачи) / К. А. Набатов [и др.] // Вестн. Воронеж. института ФСИН России. – 2012. – № 2. – С. 65 – 69.
 10. Кудрицкий, М. А. Автоматизация контроля РЭА / М. А. Кудрицкий, М. А. Сеница, П. И. Чинаев. – М. : Сов. радио, 1977. – 254 с.
-

Problem of Resource Allocation in the Network Information System

V. E. Didrikh, I. V. Didrikh, Yu. Yu. Gromov, M. A. Ivanovsky

*Department "Information Systems and Information Protection",
TSTU, Tambov, Russia; didr-irina@yandex.ru*

Keywords: distribution of functions (tasks); network information system; structure optimization.

Abstract: The work deals with the formulation and solution of problems of resource allocation in network information systems and their coordination. The authors formulated the task of structure optimization of the network information system in the aspect of optimal distribution of functions (functional tasks) among the system nodes. The optimization model is based on a classical formulation of the discrete linear optimization task with regard to the application of the utility model. We describe an example of finding the optimal solution using a variant of the greedy algorithm of the branch and bounds method. The large scale of the tasks, a large number of random factors, and the vector nature of the performance indicator are the main challenges of finding optimal solutions.

References

1. Gromov Yu.Yu., Mishchenko S.V., Pogonin V.A., Nabatov K.A. *Energoberegayushchie informatsionno-upravlyayushchie sistemy ob"ektami maloi energetiki* [Energy management information system of small power], Moscow: Nauchtekhlitizdat, 2010, 202 p. (In Russ.)

2. Didrikh V.E., Ivanova O.G., Savin K.N., Minin Yu.V. [Evaluation of survivability of network-centric structures for energy-efficient control systems], *Mekhanizatsiya stroitel'stva* [Mechanization of construction], 2016, vol. 77, no. 2, pp. 20-23. (In Russ., abstract in Eng.)
 3. Ivanovskii M.A., Ivanova O.G., Savin K.N., Minin Yu.V. [Model selection and allocation of resources of network-centric system of energy-saving control], *Mekhanizatsiya stroitel'stva* [Mechanization of construction], 2016, vol. 77, no. 4, pp. 35-38. (In Russ., abstract in Eng.)
 4. Gromov Yu.Yu., Nabatov K.A., Kalinin V.F., Serbulov Yu.S., Drachev V.O. *Raspredelenie resursov setevykh elektrotekhnicheskikh system* [Resource allocation of network of electrical systems], Moscow: Mashinostroenie, 2008, 214 p. (In Russ.)
 5. Borisenko A.B., Gorlatch S. Parallel MPI-Implementation of the Branch-and-Bound Algorithm for Optimal Selection of Production Equipment, *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2016, vol. 22, no. 3, pp. 350-357, doi: 10.17277/vestnik.2016.03.pp.350-357
 6. Borisenko A. B., Khaidl M., Gorlatch S. [Using Parallel Branch-and-Bound Algorithm on GPUs for Optimal Design of Multi-Product Batch Plants], *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2015, vol. 21, no. 3, pp. 406-412, doi: 10.17277/vestnik.2015.03.pp.406-412
 7. Auad M., Minin Yu.V., Gromov Yu.Yu. [Model of Allocation of Resources in Network Information Structures], *Vestnik Voronezhskogo instituta MVD Rossii* [Vestnik of Voronezh Institute of the Ministry of Interior of Russia], 2013, no. 4, pp. 215-220. (In Russ., abstract in Eng.)
 8. Auad M., Borshch V.V., Lazarenko A.V., Minin Yu.V. [Optimization problem of choice and resource allocation in information systems], *Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika* [Instruments and Systems: Monitoring, Control, and Diagnostics], 2014, no. 1, pp. 43-46. (In Russ., abstract in Eng.)
 9. Nabatov K.A., Minin Yu.V., Ivanova O.G., Baranov A.V. [On the simulation of resource allocation process of information-tion systems for the objects of strategic importance (Part 1: Statement of the Problem)], *Vestnik Voronezhskogo instituta FSIN Rossii* [Bulletin of Voronezh Institute of Federal Penitentiary Service of Russia], 2012, no. 2, pp. 65-69. (In Russ., abstract in Eng.)
 10. Kudritskii M.A., Sinita M.A., Chinaev P.I. *Avtomatizatsiya kontrolya REA* [Radioelectronic Control Automation], Moscow: Sovetskoe radio, 1977, 254 p. (In Russ.)
-

Aufgabe der Verteilung der Ressourcen im informativen Netzsystem

Zusammenfassung: Die Arbeit ist der Errichtung und der Lösung der Aufgaben der Verteilung der Ressourcen in den informativen Netzsystemen und ihrer Koordination gewidmet. Es ist die Aufgabe der Optimierung der Struktur des informativen Netzsystems im Aspekt der optimalen Verteilung der Funktionen (der funktionalen Aufgaben) zwischen den Knoten des Systems abgefasst. Das Optimisationsmodell stützt sich auf der klassischen Aufgabenstellung der diskreten linearen Optimierung unter Berücksichtigung der angewandten Zweckbestimmung des Modells. Es ist das Beispiel der Suche der optimalen Lösung unter Ausnutzung der Variante „des gierigen“ Algorithmus der Methode der Zweige und der Grenzen angeführt. Es sind die Schwierigkeiten der Suche der optimalen Lösung infolge der großen Dimension der Aufgaben, des Vorhandenseins der großen Zahl der zufälligen Faktoren, wegen des Vektorcharakters der Kennziffer der Effektivität gezeigt.

Problème de la répartition des ressources dans le système du réseau informatique

Résumé: L'article est consacré à la position et à la réalisation du problème de la répartition des ressources dans les systèmes des réseaux informatiques et leur coordination. Est formulée le problème de l'optimisation de la structure du système du réseau informatique dans l'aspect de la répartition optimale des fonctions (tâches de fonctions) entre les nœuds du système. Le modèle d'optimisation est basé sur la position classique du problème de l'optimisation linéaire discrète compte tenu de l'application du modèle. Est cité l'exemple de la recherche de la solution optimale avec l'aide de l'option de l'algorithme des branches et des frontières. Sont montrées les difficultés de la recherche de la solution optimale en raison de la dimension des tâches, de la présence d'un grand nombre de facteurs aléatoires, le caractère vectoriel de indicateur de performance.

Авторы: *Дидрих Валерий Евгеньевич* – доктор технических наук, профессор кафедры «Информационные системы и защита информации»; *Дидрих Ирина Валерьевна* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные системы и защита информации»; *Громов Юрий Юрьевич* – доктор технических наук, профессор, директор института автоматизации и информационных технологий; *Ивановский Михаил Андреевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные системы и защита информации», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.

Рецензент: *Павлов Владимир Иванович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Конструирование радиоэлектронных и микропроцессорных систем», ФГБОУ ВО «ТГТУ», г. Тамбов, Россия.
