

УДК 519.81

А.А. Гудков, С.Р. Малышев, С.В. Краснов

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ СИСТЕМ РАДИОМОНИТОРИНГА И РАДИОТЕХНИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ НА ОСНОВЕ ФОРМАЛЬНОГО ПОДХОДА

Гудков Алексей Александрович, магистр, окончил Череповецкий военный инженерный институт радиоэлектроники, Военную академию связи им. С.М. Буденного. Адъюнкт ВАС им. С.М. Буденного. Имеет труды и публикации в области оценки электромагнитной доступности и расчета структурной устойчивости иерархических систем. [e-mail: gudkov_aa@rambler.ru].

Малышев Сергей Романович, доцент, кандидат технических наук, окончил Военный инженерный Краснознаменный институт им. А.Ф. Можайского. Заслуженный изобретатель РФ. Доцент ВАС. Имеет учебные пособия, статьи и изобретения в области современных теоретических аспектов ведения радиомониторинга и радиотехнического контроля. [e-mail: malishevsvr56@ya.ru].

Краснов Сергей Васильевич, доцент, кандидат технических наук, окончил Ульяновское высшее военное командное училище связи, адъюнктуру Ульяновского высшего военного инженерного училища связи. Доцент Высшей школы технологий управления бизнесом Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. Имеет более 50 работ в области проектирования и внедрения информационных систем и технологий. [e-mail: hsm.krasnov@gmail.com].

Аннотация

Задача синтеза систем радиомониторинга в теории сложных систем является задачей оценивания оптимальности системы или задачей оптимизации системы. Решение задачи синтеза состоит в рассмотрении целого ряда оптимизационных задач, каждая из которых может характеризоваться использованием различных критериев оптимальности. Разнообразие радиоэлектронных систем и специфические особенности их функционирования не позволяют сформировать единую методику, позволяющую осуществить синтез любого центра радиомониторинга. В связи с этим синтез какой-либо конкретной системы представляет собой индивидуальный процесс. Рассматриваемая концепция синтеза центров радиомониторинга основывается на общих принципах системного подхода при проведении синтеза сложной системы любого назначения и в то же время включает в себя ряд отличительных черт, обусловленных особенностями синтезируемой системы. Синтез рассматриваемых систем должен включить в себя два этапа: структурный и параметрический синтезы. На первом этапе задаются показатели результатов, требования к результатам, критерий для оценки качества результатов. На втором этапе определяются показатель эффективности, требования к уровню эффективности, критерий для оценки эффективности.

Ключевые слова: параметрический синтез, оптимизация, система радиомониторинга.

PARAMETRIC SYNTHESIS OF RADIOMONITORING AND RADIOTECHNICAL CONTROL SYSTEMS BASED ON THE FORMAL APPROACH

Aleksei Aleksandrovich Gudkov, Master's Degree; graduated from the Cherepovets Military Engineering Institute of Radioelectronics; the Marshal Budjonny Military Academy of Signal Corps; Adjunct of the Marshal Budjonny Military Academy of Signal Corps; an author of proceedings and publications in the field of an assessment of electromagnetic accessibility and calculation of structural stability of hierarchical systems. e-mail: gudkov_aa@rambler.ru.

Sergei Romanovich Malyshev, Candidate of Engineering, Associate Professor; graduated from Mozhaisky Military Engineering Institute; Honored Inventor of the Russian Federation; Associate Professor of the Military Academy of communications an author of tutorials, articles and inventions in the field of modern theoretical aspects of radiomonitoring and radioengineering control. e-mail: malishevsvr56@ya.ru.

Sergei Vasilevich Krasnov, Candidate of Engineering, Associate Professor; graduated from the Ulyanovsk Higher Military Command School of Communications; an adjunct of Ulyanovsk Military Engineering Communication School; Associate Professor of Graduate School of Business Management Technologies of St. Petersburg Polytechnic University; an author of more than 50 scientific works in the field of design and implementation of information systems and technologies. e-mail: hsm.krasnov@gmail.com.

Abstract

The task of synthesizing the radiomonitoring systems in the theory of complex systems is the task of estimating the optimality of the system or the problem of optimizing the system. The solution of the synthesis problem consists in considering a number of optimization problems, each of which characterized by the use of various optimality criteria. The diversity of radio electronic systems and the specific features of their functioning do not allow forming a unified methodology that allows the synthesis of any radiomonitoring system. In this regard, the synthesis of a particular system is an individual process. The concept of the synthesis of radiomonitoring system based on the general principles of the system approach in the synthesis of a complex system of any purpose, and, at the same time, includes a number of distinctive features due to the features of the system synthesized. The synthesis of the systems under consideration should include two stages: structural and parametric synthesis. At the first stage, indicators of results, requirements for results, criteria for assessing the quality of results are set. The second stage determines the efficiency index, the requirements for the level of efficiency, the criterion for assessing the effectiveness.

Key words: parametric synthesis, optimization, radiomonitoring system.

ВВЕДЕНИЕ

Задача синтеза систем радиомониторинга и радиотехнического контроля (СРМРТК) состоит в выборе такого облика системы и ее технического оснащения, которые:

- удовлетворяют принятому критерию пригодности системы для решения возложенных на нее задач в соответствующих условиях ее функционирования;
- являются предпочтительными в смысле выбранного критерия оптимальности.

Данная задача в теории сложных систем называется задачей оценивания оптимальности системы или задачей оптимизации системы. В общем случае синтез любой сложной системы состоит в решении целого ряда оптимизационных задач, каждая из которых в зависимости от условий может характеризоваться использованием различных критериев оптимальности (как в зависимости от этапа синтеза, так и в зависимости от того: осуществляется ее решение в условиях детерминированной определенности относительно параметров, определяющих значение оптимизируемых показателей, либо в условиях неопределенности этих параметров как стохастического, так и нестохастического характера).

Концепция синтеза СРМРТК

Разнообразие систем и специфические особенности их функционирования не позволяют сформировать единую методику, позволяющую осуществить синтез любой системы специального назначения. В связи с этим синтез какой-либо конкретной системы представляет собой индивидуальный процесс, который должен отвечать принципу функциональности, то есть проектирование конкретной структуры должно происходить после уяснения функций в системе. В частности, это означает, что в случае придания системе новых функций важно не добавит новую функцию в имеющуюся систему, создав избыточность структурных элементов, а пересмотреть существующий вариант построения архитектуры.

Рассматриваемая концепция синтеза СРМРТК основывается на общих принципах системного подхода при проведении синтеза сложной системы любого назначения и в то же время включает в себя ряд отличительных черт, обусловленных особенностями синтезируемой системы:

- характером получаемых данных, технологическими особенностями их обработки и динамичностью условий функционирования системы;
- принципиальной многовариантностью как первоначального облика системы, так и конкретного состава оборудования в рамках рассматриваемого варианта СРМРТК.

Как показал проведенный анализ существующих методик синтеза сложных систем специального назначения [1], в них нет возможности учета этих особенностей. Таким образом, синтез рассматриваемых систем должен включить в себя два этапа: структурный и параметрический синтезы.

Адаптация системы специального назначения к условиям функционирования является необходимым условием сохранения ее работоспособности. Степень приспособленности систем к условиям функционирования выражается таким свойством, как устойчивость, то есть способностью сохранять работоспособность в соответствии с целевым назначением при воздействии неблагоприятных факторов [2]. Устойчивость определяется живучестью системы, ее технической надежностью, защищенностью и помехоустойчивостью подсистемы связи.

В свою очередь, под структурной устойчивостью системы специального назначения понимается способность выполнять поставленные задачи в условиях выхода из строя части функциональных элементов системы. С учетом этого на этапе структурного синтеза обосновываются показатели качества функционирования СРМРТК и определяются требования к их значениям; на их основе осуществляется выбор варианта (архитектуры) СРМРТК по принятому критерию пригодности на заданном конечном множестве реально имеющих место вариантов (альтернатив) для СРМРТК.

На этапе параметрического синтеза по принятому критерию оптимальности в рамках выбранного варианта СРМРТК формируется оптимальное (в смысле принятого критерия) техническое оснащение (так как формирование оптимального состава оборудования осуществляется в рамках выбранного варианта СРМРТК, то данный уровень синтеза правомерно назвать параметрическим).

Общая постановка оптимизационной задачи

В связи с изложенной концепцией, процесс синтеза СРМРТК как сложной системы специального назначения может быть осуществлен в два этапа.

На первом этапе задаются:

- показатели результатов ($X_{<n>} = \langle x_1, x_2, \dots, x_n \rangle$) – вектор показателей частных (единичных) результатов;
- требования к результатам ($Y_{<n>} = \langle y_1, y_2, \dots, y_n \rangle$) – вектор предельно допустимых значений показателей результатов $X_{<n>}$;

- критерий для оценки качества результатов – $2n$ -местный неопределенный предикат: $G_1: X_{<n>} \leq Y_{<n>}$.

На втором этапе определяются:

- показатель эффективности – вероятность выполнения целевой задачи, стоящей перед СРМРТК [3]:

$$P_g = P(X_{<n>} \leq Y_{<n>});$$

- требования к уровню эффективности – минимально допустимое (требуемое) значение P_g^{mp} вероятности выполнения задачи мониторинга;
- критерий для оценки эффективности – одноместный предикат: $G_2: (P \geq P_g^{mp})$.

Показатель эффективности функционирования СРМРТК является комплексным показателем качества, а критерий для оценки качества результатов работы системы указывает на цель ее функционирования и требуемую степень достижения этой цели.

В качестве наиболее информативного комплексного показателя эффективности функционирования СРМРТК целесообразно выбрать вероятность выполнения задачи (достижения цели функционирования):

$$P_B = P(X_{<n>} \leq Y_{<n>}) = \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} \Phi_{X_{<n>}}(X_{<n>}) dF_{Y_{<n>}}(Y_{<n>}),$$

где $\Phi_{X_{<n>}}(X_{<n>}) = P(X_{<n>} \leq X_{<n>}^*) = P\left[\bigcap_{i=1}^n (x_i \leq x_i^*)\right]$ – интегральный закон распределения случайного вектора $X_{<n>}$;

$$F_{Y_{<n>}}(Y_{<n>}) = P(Y_{<n>} \leq Y_{<n>}^*) = P\left[\bigcap_{i=1}^n (y_i \leq y_i^*)\right] -$$

функция распределения случайного вектора $Y_{<n>}$.

Это справедливо при любом характере результатов функционирования СРМРТК (случайном или детерминированном) и требований к ним.

С целью исключения неоднозначности в ходе моделировании необходимо задать ограничения для компонентов векторов $X_{<n>}$, $Y_{<n>}$ в том, что они неслучайны и определены заданными значениями, тогда в выражениях для интегрального закона распределения случай-

ного вектора $X_{<n>}$ и функции распределения случайного вектора $Y_{<n>}$ они будут фигурировать как константы.

Составляющие векторов показателей результатов функционирования СРМРТК $X_{<n>}$ и составляющие векторов предельно допустимых значений $Y_{<n>}$ зависят от

$$\left. \begin{aligned} X_{<n>} &= X_{<n>}(A_{<k>}, B_{<l_1>}) \\ Y_{<n>} &= Y_{<n>}(B_{<l_2>}^*) \end{aligned} \right\},$$

где $A_{<k>} = \langle a_1, a_2, \dots, a_k \rangle$ – вектор эксплуатационно-технических характеристик (ЭТХ), который определяет совокупностью параметров СРМРТК;

$B_{<l_1>} = \langle b_1', b_2', \dots, b_{<l_1>}' \rangle$ – вектор условий функционирования системы, элементы которой учитывают работу компонентов СРМРТК;

$B_{<l_2>} = \langle b_1'', b_2'', \dots, b_{<l_2>}'' \rangle$ – вектор условий применения системы, предъявляющий требования к условиям целенаправленного управления процессом радиомониторинга, который определяет требования к работе конкретных автоматизированных рабочих мест (АРМ) с учетом сложившейся обстановки.

Значения элементов векторов $X_{<n>}$, $Y_{<n>}$ находятся в функциональной зависимости от времени работы АРМ. Поэтому определение показателя эффективности целесообразно проводить с использованием потенциальных возможностей АРМ на интервале их функционирования в пределах условий и ограничений, обуславливающих выбор того или иного варианта построения СРМРТК, основными из которых являются:

- требования к пропускной способности СРМРТК и ее отдельным компонентам;
- расстояния между аппаратными и другими компонентами СРМРТК;
- требования к масштабируемости;
- требования к отказоустойчивости.

Наиболее полной характеристикой степени пригодности системы для выполнения стоящей перед ней задачи (показателем ее функциональной эффективности) может служить вероятность того, что время работы пользователя будет находиться в интервале $T_n < T \leq T_d$: $P_g = P(T_n < T \leq T_d) = F_m(T_d) - F_m(T_n)$, где T_n и T_d – нижняя (нормативное время выполнения задачи) и верхняя (директивное время) границы периода функционирования СРМРТК в течение цикла радиомониторинга.

При целевом применении СРМРТК качество (пригодность) определяется оперативными требованиями по времени ($T \leq T_d$). Тогда характеристикой оперативности функционирования СРМРТК будет вероятность: $P_g = P(T \leq T_d) = F_m(T_d)$, которая характеризует процесс распределения ресурсов АРМ на заданном интервале времени.

С учетом изложенных методологических основ [4] и полученных в ходе исследований практических результатов, общая математическая постановка задачи по ве-

дению радиомониторинга с использованием СРМРТК с учетом условий и ограничений, возникающих при этом, может быть сформулирована следующим образом – найти совокупность значений $U_{<m>}^{opt}$ вектора управляемых параметров функционирования СРМРТК следующего вида:

$$\begin{aligned} U_{<m>} &= f(A_{<k>}, B_{<l>}), \\ B_{<l>} &\in B'_{<l_1>} \cup B''_{<l_2>}, \\ A_{<k>} &\in \{A_{<k>}^{don}\}, B_{<l>} \in \{B_{<l>}^{don}\}, \end{aligned}$$

при которых обеспечивается:

$$U_{<m>}^{opt} = \arg \max W(U_{<m>}; D_{<p>}),$$

где $W(U_{<m>}; D_{<p>})$ – показатель эффективности функционирования СРМРТК;

$U_{<m>} = \langle u_1, u_2, \dots, u_m \rangle$ – вектор управляемых параметров, варьируя которыми можно осуществлять повышение эффективности функционирования СРМРТК (при этом должно обеспечиваться условие допустимости $U_{<m>} \in \{U_{<m>}^{don}\}$);

$D_{<p>} = \langle d_1, d_2, \dots, d_p \rangle$ – вектор неизменных характеристик, который для этапа структурного и параметрического синтезов будет записан следующим образом:

$$D_{<p>} = A_{<k>} \cup B_{<l>} | U_{<m>}, p = l + k - m.$$

А при применении системы, где $D_{<p>} \in \{D_{<p>}^{don}\}$ –

как представлено ниже:

$$D_{<p>} = B_{<p>} | U_{<m>}, p = l - m.$$

Для отыскания экстремума W необходимо определить те элементы вектора $U_{<m>}$, которые обеспечивают максимально возможное повышение эффективности.

Так как $U_{<m>}$ определяется конкретными временными параметрами, то условия и ограничения для задачи управления можно записать:

$$\left. \begin{aligned} u_j &= u_j(c_j), \\ \sum_{j=1}^m c_j &\leq c_0, \\ c_j &\geq 0, \\ c_0 &> 0, \\ j &= \overline{1, m}, \end{aligned} \right\}$$

где c_j – длительность функционирования СРМРТК, c_0 – допустимая величина суммарных затрат системы, определяемая его ресурсами.

В рамках решения оптимизационной задачи необходимо отметить, что большинство составляющих векторов имеют размерность времени либо зависят от времени, а $A_{<k>}, B'_{<l_1>}, B''_{<l_2>}$ – в общем случае случайные векторы. Но если значения этих величин учтены в математической модели и постоянно уточняются по результатам функционирования СРМРТК, то вышеуказанные компоненты векторов будут практически детерминированы в пределах параметрической пригодности (1):

$$\left. \begin{aligned} A_{<k>} &\in \{A_{<k>}^{don}\}, \\ B_{<l_1>} &\in \{B_{<l_1>}^{don}\}, \\ B_{<l_2>} &\in \{B_{<l_2>}^{don}\}. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Исходя из вышеизложенного, математическая постановка задачи структурного и параметрического синтеза будет иметь детерминированный характер, полностью определяемый структурой СРМРТК.

В силу большого количества переменных, условий и ограничений, алгоритм решения поставленных задач должен исключать необходимость явного перебора всех допустимых альтернатив. Данные задачи относятся к классу NP -полных и являются трудно разрешимыми [5]. Все задачи из этого класса эквивалентны по вычислительной сложности в том смысле, что если одна из них имеет эффективное (с полиномиально ограниченным временем) решение, то все они имеют эффективное решение.

Одним из способов получения решения для подобного класса задач является применение метода децентрализованного управления (метод декомпозиции Данцига-Вульфа) [6], предложенного для задач линейного программирования блочного типа, с дальнейшим выходом на целочисленную постановку задачи [7].

Постановка задачи определения оптимального состава СРМРТК

Постановка задачи определения оптимального состава СРМРТК в общем виде может быть сформулирована и записана следующим образом:

$$f(\vec{x}) = (f_1(\vec{x}), f_2(\vec{x}), \dots, f_k(\vec{x})) \rightarrow \underset{x \in \Delta\beta}{extr},$$

где $\Delta\beta$ – конечное или счетное множество допустимых вариантов, используемых для построения СРМРТК.

В рамках решения оптимизационной задачи синтеза СРМРТК в качестве основных расчетных компонентов рассматриваются три составляющие: $S = \langle S_E, S_V, S_N \rangle$, где S_E, S_V, S_N – соответственно энергетические, пространственные и эргатические характеристики.

При этом предполагается, что имеет место следующая функциональная зависимость от множества параметров этих систем, т. е.

$$F(f_{S_L}(\vec{x}_{S_L}), f_{S_V}(\vec{x}_{S_V}), f_{S_N}(\vec{x}_{S_N})); f_k \rightarrow \underset{x \in \Delta\beta}{extr},$$

где $f_k(\vec{x}_k)$ – целевая функция для k -го компонента системы.

Конечное множество допустимых альтернатив во многом определяется значениями параметров $A_{<k>}$, характеризующих качественный и количественный составы СРМРТК:

$$\begin{aligned} \Delta\beta &= \{\vec{x} | g_j(\vec{x}) = 0, (j = 1, 2, \dots, m); \\ &\vec{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n), x_i \in D_i, (i = 1, 2, \dots, n)\}, \end{aligned}$$

где x_1, x_2, \dots, x_n – переменные, характеризующие качественный и количественный состав компонентов СРМРТК;

D_i – область допустимых, в соответствии с (1), значений переменных x_i ;

$g_j(\vec{x})$ – функции, описывающие зависимости между ЭТХ аппаратных и программных компонентов СРМРТК и показателями качества функционирования системы (по производительности, надежности, защищенности и т. д., которые являются составляющими векторов $B'_{<I_1>}, B''_{<I_2>}$).

При решении задачи синтеза основным параметром является стоимость СРМРТК (2), то есть в качестве целевой функции будет выступать общая стоимость системы:

$$I^C = I_{S_L}^C + I_{S_V}^C + I_{S_N}^C, \quad (2)$$

где $I_{S_L}^C$ – стоимостные характеристики энергозатрат;

$I_{S_V}^C$ – стоимостно-площадные характеристики;

$I_{S_N}^C$ – стоимостные характеристики по материальному обеспечению.

При этом систему ограничений $g_j(\vec{x})$ обуславливают основные параметры условий применения СРМРТК: $C_{эк}$ – абсолютный показатель стоимости; $J_{сз}$ – индекс стоимости затрат; $T_{ок}$ – срок окупаемости затрат; $N_{лс}$ – количество личного состава; $N_{кат}$ – число категорий личного состава; $k_{закр}$ – коэффициент закрытия задач радиомониторинга; $k_{вып}$ – коэффициент выполнения задач радиомониторинга; $S_{ц}$ – эффективная площадь размещения СРМРТК; $f_{ном}$ – номинальное значение частоты электропитания; Δf – отклонение частоты; $U_{ном}$ – номинальное напряжение электропитания; U_c – согласованное напряжение электропитания; Δt_n – длительность провала напряжения; $\Delta t_{пр}$ – длительность прерывания напряжения и др.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВА СРМРТК

Расчетные показатели СРМРТК состоят из трех основных компонентов: $S_x = \langle E, V, N \rangle$, каждый из которых, в свою очередь, имеет ряд составляющих.

Очевидно, что целевая функция (2) должна минимизироваться с учетом условий и ограничений, наложенных на функционирование СРМРТК (3):

$$I_{S_x}^C = I_V^C + I_L^C + I_N^C \rightarrow \min. \quad (3)$$

Таким образом, в рамках математической модели оценки эффективности функционирования СРМРТК могут быть получены расчетные формулы для определения значения целевой функции (3) с учетом наложенных ограничений $g_j(\vec{x})$.

Другим аспектом нахождения оптимального решения будет выбор условий и ограничений, влияющих на

полученный результат исследований в соответствии с обоснованной параметрической пригодностью (1).

Вышеперечисленные условия и ограничения в совокупности с целевой функцией представляют собой математическую модель задачи параметрического синтеза СРМРТК.

Таким образом, математическая модель задачи определения оптимального состава СРМРТК состоит из:

- целевой функции (3), значение которой минимизируется;
- условий и ограничений функционирования системы.

Общая математическая модель СРМРТК может быть декомпозирована на три модели: для библиотек энергетических, пространственных и эргатических характеристик.

Все вышеперечисленные математические подмодели, в конечном случае, могут быть приведены к виду:

$$I = \sum_{j=1}^n c_j x_j \rightarrow \min$$

при ограничениях (4):

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (4)$$

где условия целочисленности сведены к виду (5):

$$x_i = \begin{cases} 0, & i = 1, 2, \dots, n. \\ 1, & \end{cases} \quad (5)$$

При этом предполагается, что любой коэффициент c_j есть целое число (это достигается выбором правильного масштаба целевой функции при условии, что исходные значения коэффициентов заданы рациональными числами).

Применение модифицированного метода неявного (частичного) перебора не требует решения последовательности задач линейного программирования, так как используется условие (4), вследствие чего вычисления ограничиваются либо операциями сложения, либо операциями вычитания. По этой причине алгоритм является аддитивным.

Из условия целочисленности (5) следует, что существует 2^j выборов x_j , причем многие из них недопустимы из-за линейных ограничений (4), и лишь сравнительно небольшое их количество является оптимальным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования показали, что для каждой из выделенных подсистем с помощью разработанных математических подмоделей необходимо рассчитать оптимальный состав технических средств и других сопутствующих характеристик (размещение и количество энергоблоков, людские ресурсы).

При решении задач структурного и параметрического синтезов при заданных условиях и ограничениях традиционным путем, результат поиска определяется использованием методов динамического, линейного и целочисленного линейного программирования. Известные подходы в силу большой размерности задачи имеют ряд недостатков, к которым относятся низкое

быстродействие алгоритмов и привлечение значительных программных ресурсов, что затрудняет получение оптимального решения.

Необходим метод, обеспечивающий частичный перебор сравнительно небольшого числа допустимых вариантов и неявный перебор всех остальных, подобно симплексному. Это может быть модифицированный метод неявного перебора, который после соответствующей настройки на конкретную технологию решения задач синтеза дает положительный эффект. Применение этого метода в сравнении с методом отсечения (Гомори), основанном на симплекс-методе (решении задачи линейного программирования), дает более эффективное решение, так как:

- нет необходимости предварительного решения задачи линейного программирования;
- нет необходимости масштабирования (метод обладает абсолютной сходимостью);
- точность решения более высока (метод относится к методам абсолютной оптимизации).

В этом случае соответствующая математическая постановка задачи целочисленного линейного программирования приводит к целесообразности применения модифицированного метода неявного перебора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Морозов Л.М., Петухов Г.Б., Сидоров В.Н. Методологические основы теории эффективности : учеб. пособие. – Л. : МО СССР, 1979. – 236 с.
2. Обеспечение живучести радиотехнических систем за счет повышения их структурной устойчивости / А.А. Гудков, С.Ф. Боев, С.Р. Малышев, И.В. Чеботарь // Научные технологии. – 2016. – № 12. – С. 80–85.
3. Абчук В.А., Матвейчук Е.Т., Томашевский Л.П. Справочник по исследованию операций. – М. : МО СССР, 1979. – 736 с.
4. Ролдугин В.Д., Казарин В.Е., Тацышин Н.Н. Исследование эффективности применения сил и средств. –

Балашиха : ВА РВСН им. Петра Великого, 2016. – 209 с.

5. Ахо А., Хопкрофт Дж., Ульман Дж. Построение и анализ вычислительных алгоритмов. – М. : Мир, 1979. – 536 с.
6. Данциг Дж. Линейное программирование, его применение и обобщения. – М. : Прогресс, 1965, – 410 с.
7. Вагнер Г. Основы исследования операций. – М. : Мир, 1973. – Т. 2. – 490 с.

REFERENCES

1. Morozov L.M., Petukhov G.B., Sidorov V.N. *Metodologicheskiye osnovy teorii effektivnosti. Uchebnoye posobie* [The Methodological Foundations for the Theory of Efficiency. Tutorial]. Leningrad, MO SSSR Publ., 1979. 236 p.
2. Gudkov A.A., Boev S.F., Malishev S.R., Chebotar I.V. *Obespechenie zhivuchesti radiotekhnicheskikh system za schet povysheniia ikh strukturnoi ustoichivosti* [The Radiotechnical Systems Survivability Assurance as a Result of Structural Stability Increase]. *Naukoemkie tekhnologii* [Science Intensive Technologies], 2016, no. 12, pp. 80–85.
3. Abchuk V.A., Matveichuk Ie.T., Tomashevskii L.P. *Spravochnik po issledovaniiu operatsii* [Operations Research Reference Manual]. Moscow, MO SSSR Publ., 1979. 736 p.
4. Roldugin V.D., Kazarin V.Ie., Tatsyshin N.N. *Issledovanie effektivnosti primeneniia sil i sredstv* [Investigation of the Effective Use of Forces and Means]. Balashikha, VA RVSN im. Petra Velikogo Publ., 2016. 209 p.
5. Aho A., Hopcroft J., Ullman J. *Postroenie i analiz vychislitelnykh algoritmov* [The Design and Analysis of Computer Algorithms]. Moscow, Mir Publ., 1979. 536 p.
6. Dantzig G. *Lineinoe programmirovaniie, ego primeneniie i obobshcheniia* [Linear Programming and Extensions]. Moscow, Progress Publ., 1965. 410 p.
7. Wagner H.M. *Osnovy issledovaniia operatsii. T. 2* [Principles of Operations Research. Vol. 2]. Moscow, Mir Publ., 1973. 490 p.