

Молоткова Баира Борисовна – e-mail: bbmolotkova@bk.ru; тел.: +79818035441; кафедра автоматизированного управления ракетными войсками и артиллерией; старший преподаватель; к.п.н.

Nagovicin Alexander Ivanovich – Mikhailovskaya artillery military Academy; e-mail: alexander@nagovitsin.ru; 22, Komsomol street, St. Petersburg, 195009, Russia; phone: +79112160000; the department of automated control of rocket troops and artillery; associate professor.; cand. of mil. sc.

Molotkova Bair Borisovna – e-mail: bbmolotkova@bk.ru; phone: +79818035441; the department of automated control of rocket troops and artillery; senior lecturer; cand. of ped. sc.

УДК 002.2

DOI 10.18522/2311-3103-2017-1-2028

А.Д. Крайлюк, К.А. Злотников, Р.В. Куклин, Т.Х. Аунг

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ ПОДГОТОВКИ ОПЕРАТОРОВ УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Приведены результаты исследований, направленных на построение автоматизированных систем подготовки специалистов по управлению робототехническими комплексами. Как показывает опыт их создания и применения, такие системы в настоящее время строятся как многопользовательские вычислительные комплексы, использующие в качестве аппаратных средств электронно-вычислительные машины общего назначения. В общем случае в состав автоматизированной системы подготовки специалистов включаются аппаратно-программные комплексы управления обучением, специализированные компьютерные классы, а также тренажеры соответствующих робототехнических комплексов для практической подготовки специалистов. Подготовка специалистов проводится с использованием виртуальной информационной среды применения робототехнических комплексов, реализованной на основе единого банка данных геопространственной информации и моделей фоновой обстановки. Это позволяет исключить необходимость использования для обучения реальной техники, повысить безопасность подготовки, снизить затраты на обучение. Большое количество возможных вариантов построения аппаратно-программных комплексов обуславливает необходимость применения формализованных методов для обоснования их технического облика. Задача выбора оптимального состава автоматизированной системы подготовки специалистов сформулирована как задача дискретного программирования. Для определения основных функций системы использован метод морфологического анализа, а для выбора вариантов их технической реализации – методы дискретной оптимизации. Критерием оптимальности является минимум стоимости или максимум эффективности системы, а ограничениями – совместимость возможных вариантов технической реализации элементов системы. Кроме того, в качестве ограничений могут выступать требования к надежности, габаритам, массе, энергопотреблению и другие. Приведен пример решения задачи выбора состава аппаратно-программного комплекса управления обучением по критерию минимизации стоимости системы.

Подготовка специалистов; автоматизированные системы; управление робототехническими комплексами; оптимизация состава системы; задача дискретной оптимизации.

A.D. Krailuk, K.A. Zlotnikov, R.V. Kuklin, T.H. Aung

STRUCTURE OPTIMIZATION OF THE AUTOMATED TRAINING SYSTEMS FOR ROBOTIC SYSTEMS CONTROL OPERATORS

We present the results of investigations, dealing with the creation of computerized training systems for robotic systems operators. As it is shown by the experience of design and practical application of such systems, nowadays they use the platform of multiuser computers. This platform

is used to create the learning measurement systems, computer classes for theoretical studies, and special simulators for practical training. The essential part of this system is the virtual environment, which is built using the database of geospatial information and environment models. The main advantage of computerized training systems is the opportunity to train the personnel using no real robots, this way reducing training cost and training risk reduction. The complexity of the computerized training systems design problem leads to the need of using formal methods of rational choice of the system components. In this paper the optimal choice of computerized training systems components is made using the discrete programming. Morphological analysis is used to describe the main functionality of the system, as well as the discrete optimization methods – to choose the ways of its technical realization. The system cost of efficiency may be used as the criterion of system optimization, and the elements compatibility is considered as the restriction. The additional restrictions may be used to achieve the necessary reliability, power consumption etc. The efficiency of the proposed method is illustrated with the example of its application to the task of cost-effective learning management system creation.

Personnel training; computerized training systems; robotic systems control; system optimization; discrete optimization problems.

Введение. Для снижения затрат на обучение и поддержания навыков операторов управления робототехническими комплексами (РТК) необходимо широко использовать автоматизированные средства подготовки (АСП), в том числе комплексы, аналогичные тем, которые описаны в работе [1]. Для обеспечения полного цикла подготовки операторов управления РТК необходима реализация в АСП как теоретического обучения, так и практической подготовки, в том числе одиночной подготовки операторов и сложивания расчетов РТК. Повышение уровня одиночной подготовки операторов и сложности расчетов РТК в целом достигается на основе использования виртуальной информационной среды боевого применения робототехнических комплексов, реализованной на основе единого банка данных геопространственной информации и моделей фоноцелевой обстановки [2].

Методам создания АСП в настоящее время уделяется большое внимание. В литературе описаны методы, основанные на применении экспертных оценок, которые позволяют решать задачи формирования содержания образовательных курсов для АСП [3–8]. Вместе с тем в известных трудах недостаточно разработаны методы, позволяющие решить задачу синтеза состава АСП, используя не экспертные оценки, а объективные характеристики системы, такие как стоимость, надежность, производительность. В связи с этим актуальной является задача разработки методики синтеза АСП, в том числе операторов РТК, основанной на применении оптимизационных методов синтеза сложных технических систем (СТС).

Синтез СТС традиционно рассматривается как одна из наиболее сложных задач системного анализа. Исследованию различных аспектов этой проблемы посвящен ряд работ, в том числе труды Волкова В.Д. [9], Глушкова В.М. [10], Ван Гига Дж. [11], Дубова Ю.А. [12], Железнова И.Г. [13], Михалевича В.С. [14], Моисеева Н.И. [15], Мушика Э. [16], Саати Т. [17], Садовского В.Н. [18], Червинского Р.А. [19]. Применение аппарата теории синтеза СТС к решению задачи синтеза АСП операторов управления РТК с учетом особенностей построения АСП является задачей настоящего исследования.

1. Состав и построение автоматизированных систем подготовки специалистов. Постановка задачи. Как показал опыт создания и применения АСП, в ее состав должны входить:

- ◆ аппаратно-программный комплекс управления обучением (АПК УО);
- ◆ аппаратно-программный комплекс учебного класса (АПК УК);
- ◆ аппаратно-программные комплексы специализированных тренажеров управления и обработки информации, поступающей от робототехнических средств (АПК РТС).

В настоящее время в качестве аппаратно-программной платформы построения АСП и их составных частей повсеместно используются многопользовательские информационно-управляющие системы на базе электронно-вычислительных машин общего назначения [20].

Основными элементами АСП и их составных частей как многопользовательских информационно-управляющих систем являются:

- ◆ высокопроизводительные многомашинные вычислительные комплексы (серверы);
- ◆ средства хранения данных;
- ◆ автоматизированные рабочие места (АРМ) преподавателей (инструкторов) и обучающихся;
- ◆ средства ввода и вывода информации;
- ◆ средства отображения информации;
- ◆ средства объективного контроля действий обучающихся.

Анализ возможных вариантов реализации указанных элементов, выполненный с использованием специальной литературы, в частности, работ [20, 21], показал, что принципиально возможно построение составных частей АСП, а также системы в целом, как одноранговой сети либо сети архитектуры «клиент-сервер». При этом выбор той или иной архитектуры в значительной степени определяет облик ряда элементов АСП, в частности, средств хранения данных, АРМ, средств отображения информации и др.

В связи с этим актуальной является задача выбора оптимального по некоторому критерию состава АСП при известных требованиях к функциональным возможностям системы, а также ее эксплуатационным характеристикам (например, надежности, габаритам, энергопотреблению).

2. Методика формирования оптимального состава автоматизированной подготовки специалистов с применением методов дискретного программирования. При формировании исходных данных для решения задачи структурного синтеза АСП целесообразно воспользоваться методом морфологического анализа, предложенным Ф. Цвики [22].

Не нарушая общности рассуждений, в дальнейшем рассмотрим задачу синтеза АПК УО.

Аппаратно-программный комплекс управления обучением (АПК УО) предназначен для автоматизации деятельности преподавателей и инструкторов при управлении процессом обучения, подготовке и проведении занятий, учете и анализе успеваемости. Основными функциями АПК УО являются:

a_{101} – разработка, хранение и печать документов по планированию и организации изучения учебных дисциплин;

a_{102} – подготовка, хранение и печать материалов учебно-методических комплексов;

a_{103} – создание пространственных моделей местности (ПММ) и моделей фоноцелевой обстановки (ФЦО) для решения практических задач на тренажере;

a_{104} – ввод и хранение геопрограммированной информации, необходимой для построения пространственных моделей местности, включая электронные топокарты (ЭТК) и опорные изображения местности;

a_{105} – ввод и хранение нормативно-справочной информации, включая тактико-технические характеристики и трехмерные модели вооружения и военной техники, объектов разведки и поражения, а также тактические нормативы;

a_{106} – ведение баз данных по преподавателям (инструкторам) и обучающимся;

a_{107} – управление процессом обучения в учебных классах и на тренажерах;

a_{108} – хранение и анализ результатов занятия;

a_{109} – учет успеваемости обучающихся, учебных групп, расчетов;
 a_{110} – анализ результатов обучения.

Материалы для проведения занятий, подготовленные с использованием АПК УО, передаются в АПК УК и АПК РТС для проведения занятий. В свою очередь, результаты занятия передаются с автоматизированных рабочих мест (АРМ) преподавателей и инструкторов АПК УК или АПК РТС в АПК УО для организации учета и последующего анализа результатов обучения.

Перечисленные выше функции позволяют сформировать морфологическую матрицу, необходимую для формирования альтернативных вариантов реализации элементов АСП. В дальнейшем с целью снижения размерности задачи представляется целесообразным выполнить обобщение функций, выполняемых системой, используя свойства морфологической матрицы.

Введем следующие обозначения:

$A = \{a_1, a_2, \dots, a_m\}$ – множество функций системы;

$V_i = \{v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{in}\}$ – множество вариантов реализации элемента системы, выполняющего ее i -ю функцию;

$X_i = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}\}$ – переменные, определяющие выбранные варианты реализации элементов системы; при этом $x_{ij} = 1$, если i -я функция выполняется элементом, реализованным в соответствии с j -м вариантом, $x_{ij} = 0$ – в противном случае.

Тогда морфологическая матрица вариантов реализации элементов системы имеет вид

$$V = \begin{bmatrix} v_{11} & \dots & v_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{m1} & \dots & v_{mn} \end{bmatrix}. \quad (1)$$

В случае, когда $V_i = V_k$, $k \neq i$, матрица V является вырожденной. Физический смысл вырожденности морфологической матрицы состоит в том, что более одной функции системы могут быть реализованы одними и теми же средствами.

В этом случае с целью снижения размерности задачи структурного синтеза системы представляется возможным оставить в матрице V только одну из повторяющихся строк, а соответствующие вычеркнутым строкам функции записать в обобщенном виде.

$$V = \begin{bmatrix} v_{11} & \dots & v_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{p1} & \dots & v_{pn} \end{bmatrix}, v_{ij} \neq v_{ik}, i = \overline{1, p}, j, k = \overline{1, n}. \quad (2)$$

Для реализации всех функций системы необходимо выбрать один из вариантов средства, реализующего каждую функцию. В приведенных выше обозначениях это может быть записано следующим образом. Для каждого варианта построения системы существует матрица X размерности $p \times n$, для которой выполняются следующие условия:

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, i = \overline{1, p}, j = \overline{1, n}, \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, i = \overline{1, p}. \quad (4)$$

Физический смысл этих ограничений сводится к тому, что для реализации каждой функции должен быть выбран соответствующий вариант, и при этом только один.

Формализованное таким образом представление состава АПК ВИС позволяет решить задачу оптимального выбора состава системы как задачу дискретной оптимизации. Для решения этой задачи следует выбрать целевую функцию и соответствующие ограничения.

В общем виде целевую функцию принято записывать как

$$Q(X) = \min_{X \in \{X\}} F(X) \quad (5)$$

или

$$Q(X) = \max_{X \in \{X\}} F(X), \quad (6)$$

где $F(X)$ – функция от выбранного варианта реализации системы X (например, стоимость или эффективность системы); $\{X\}$ – множество возможных вариантов матрицы X .

Для корректного решения задачи необходимо выполнение ограничений (3,4). Помимо ограничений (3, 4) могут быть введены и иные ограничения, в том числе учитывающие совместимость вариантов реализаций элементов. К таким ограничениям, в частности, относятся:

ограничения на совместимость вариантов реализации функций системы:

$$x_{ij} = x_{kj}, j = \overline{1, n}, \quad (7)$$

для строк i и k , соответствующих взаимно совместимым вариантам реализации функций i и k ;

ограничения на несовместимость вариантов реализации функций системы:

$$x_{lj} \neq x_{mj}, j = \overline{1, n}, \quad (8)$$

для строк l и m , соответствующих взаимно несовместимым вариантам реализации одной и той же функции;

дополнительные ограничения на характеристики системы вида

$$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^n b_{ij} x_{ij} \geq B, \quad (9)$$

или

$$\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \leq C. \quad (10)$$

В частности, для задачи минимизации стоимости АПК УО при ограничении на надежность системы целевая функция и ограничения примут вид:

$$Q^*(X) = \min_{X \in \{X\}} \sum_{i=1}^7 \sum_{j=1}^4 n_{ij} s_{ij} x_{ij} \quad (11)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, i = \overline{1,7}, j = \overline{1,4}, \quad (12)$$

$$\sum_{j=1}^4 x_{ij} = 1, i = \overline{1,7}, \quad (13)$$

$$x_{1j} = x_{6j}, j = \overline{1,4}, \quad (14)$$

где s_{ij} – стоимость i -го элемента системы при j -м варианте реализации; n_{ij} – количество i -х элементов системы при j -м варианте реализации.

В качестве дополнительного ограничения вводится требование по вероятности безотказной работы системы за заданное время t :

$$P(t) \geq P_0(t), \quad (15)$$

которое, при достаточно общих допущениях, в том числе при допущении о невозможности восстановления системы без прекращения применения по назначению, может быть записано в виде

$$\sum_{i=1}^7 \sum_{j=1}^4 n_{ij} \lambda_{ij} x_{ij} \leq \Lambda_0, \quad (16)$$

где Λ_0 – заданная интенсивность отказов системы; λ_{ij} – интенсивность отказа i -го элемента системы при j -м варианте реализации;

Задача (11–16) является задачей дискретного программирования и может быть решена известными методами, в том числе динамического программирования, ветвей и границ [23, 24].

Отметим, что ограничения на габариты, энергопотребление и другие характеристики системы вводятся аналогично ограничению (16).

3. Пример решения задачи. Для исходных данных, приведенных в табл.1, при вероятности безотказной работы за 8 часов $P(8)=0.95$ оптимальным вариантом построения АПК УО является вычислительная система клиент-серверной архитектуры с банком данных, хранящимся на сервере, проводной локальной вычислительной сетью, струйным принтером формата А4, сканером формата А4 и устройством ввода данных с оптических дисков. Вероятность безотказной работы такой системы за 8 часов составляет 0,98, а стоимость 1033 тыс. руб.

4. Обсуждение результатов. Выводы. Анализ чувствительности целевой функции (11) к изменению исходных данных дает удовлетворительные результаты. Так, при повышении требований к надежности до уровня $P(8)=0.988$ оптимальным вариантом построения системы становится вариант с хранилищем данных на RAID-массиве, стоимость такой системы составит 1515 тыс. руб.

Таблица 1

Исходные данные для решения задачи

Тип подсистемы (элемента)	Вариант реализации	Количество, ед.	Цена, тыс. руб.	Среднее время наработки на отказ, ч
АРМ	терминальная станция	4	11	6000
	рабочая станция	4	110	3000
Система хранения данных	хранилище данных на сервере с RAID-массивом	1	600	120000
	банк данных на сервере	1	120	15000
	база данных на рабочей станции	4	60	3000
Принтер	лазерный принтер цветной А3	1	55	6000
	лазерный принтер цветной А4	1	17	6000
	лазерный принтер черно-белый А4	1	5	6000
	струйный принтер цветной А4	1	3	2000
Сканер	планшетный сканер А3	1	144	6000
	планшетный сканер А4	1		6000
Устройство ввода данных	внешний накопитель на жестком магнитном диске	1	5	2000
	устройство для чтения оптических дисков	1	1	6000
Модуль вычислительный	сервер	4	200	15000
	рабочая станция	4	110	3000
Локальная вычислительная сеть	проводная	1	55	30000
	оптоволоконная	1	110	45000
	беспроводная	1	67	15000

Таким образом, в настоящей работе сформулирована и решена задача определения состава АСП операторов управления РТК по критерию минимальной стоимости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Злотников К.А., Прищепя Ю.В.* Актуальные вопросы создания автоматизированных обучающих систем для подготовки операторов наземных пунктов управления комплексов с беспилотными летательными аппаратами // Методологические аспекты развития метеорологии специального назначения, экологии и систем аэрокосмического мониторинга: Сб. науч. ст. по материалам I Всероссийской НПК (27-28 мая 2014 г.). – Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2014. – С. 219-223.
2. *Верба В.С., Прищепя Ю.В., Злотников К.А.* Комплексы с беспилотными летательными аппаратами. Кн. 2. Робототехнические комплексы на основе БЛА. – М.: Радиотехника, 2016. – 864 с.
3. *Kravets O.Ja.* Problems of Establishing of an Integrated Data Network of Regional Educational Institution // Proceedings of the Second International Conference "Internet – Education – Science" IES-2000. – Vinnitsa: Uiversum, 2000. – P. 36-38.
4. *Золотовский Ю.Л., Кравец В.В., Кравец О.Я.* Проблемы создания дистанционной образовательной сети муниципального Вуза с представительствами в регионе // Открытое образование. – 2001. – № 1. – С. 62-69.
5. *Глеков М.А.* Особенности реализации дополнительного профессионального образования с использованием InterNet-технологий // Современные проблемы информатизации в технике и технологиях: Сб. трудов. Вып. 7. – Воронеж: Центрально-Черноземное книжное изд-во, 2002. – С. 85-86.
6. *Глеков М.А., Кравец О.Я., Сергеев М.Ю.* Методология и технология создания контента в Интернет-ориентированных системах дистанционного обучения. – Воронеж: Научная книга, 2005. – 100 с.
7. *Подвальный С.Л., Сергеев М.Ю.* Организация многовариантной информационной образовательной среды // Вестник ВГТУ. Сер. Вычислительные и информационно-телекоммуникационные системы. Вып. 8.4. – Воронеж: ВГТУ, 2004. – С. 55-59.
8. *Сергеев М.Ю., Кравец О.Я.* Адаптивная технология формирования содержания, форм, средств и методов изучения дисциплины при построении индивидуальной траектории обучения // Современные проблемы информатизации в анализе и синтезе технологических и программно-телекоммуникационных систем: Сб. трудов. Вып. 16 / под ред. Кравца О.Я. – Воронеж: Научная книга, 2011. – 151 с.
9. *Волков В.Д., Ильичев А.В., Грущанский В.А.* Эффективность проектируемых элементов сложных систем. – М.: Высшая школа, 1982. – 280 с.
10. *Глушков В.М., Иванов В.В., Яненко В.М.* Моделирование развивающихся систем. – М.: Наука, 1986. – 284 с.
11. *Ван Гиг Дж.* Прикладная общая теория систем: В 2-х кн. – М.: Мир, 1981.
12. *Дубов Ю.А., Травкин С.И., Якимец В.Н.* Многокритериальные модели формирования и выбора вариантов систем. – М.: Наука, 1986. – 144 с.
13. *Железнов И.Г.* Сложные технические системы. – М.: Высшая школа, 1984. – 368 с.
14. *Михалевиц В.С., Волкович В.Л.* Вычислительные методы исследования и проектирования сложных систем. – М.: Наука, 1982. – 288 с.
15. *Моисеев Н.И.* Математические задачи системного анализа. – М.: Наука, 1981. – 488 с.
16. *Мушик Э., Мюллер П.* Методы принятия технических решений. – М.: Мир, 1990. – 164 с.
17. *Саати Т., Кернс К.* Аналитическое планирование. Организация систем. – М.: Радио и связь, 1991. – 362 с.
18. *Садовский В.Н.* Основания общей теории систем. – М.: Наука, 1974. – 324 с.
19. *Червинский В.Н.* Методы синтеза систем в целевых программах. – М.: Наука, 1987. – 322 с.
20. *Пятибратов А.П.* Вычислительные системы, сети и телекоммуникации. – М.: КНОРУС, 2013. – 376 с.
21. *Олифер Н.А., Олифер В.Г.* Базовые технологии локальных сетей. – <http://www.citforum.ru/nets/ip/contents.shtml> (дата обращения 15.01.2017).
22. *Zwicky F.* Discovery Invention. Research through Morphological Approach. McMillan, 1969.
23. *Беллман Р.* Динамическое программирование. – М.: Иностранная литература, 1960. – 400 с.
24. *Васильев Ф.П.* Методы оптимизации. – М.: Факториал пресс, 2002. – 824 с.

REFERENCES

1. Zlotnikov K.A., Prishchepa Yu.V. Aktual'nye voprosy sozdaniya avtomatizirovannykh obuchayushchikh sistem dlya podgotovki operatorov nazemnykh punktov upravleniya kompleksov s bespilotnymi letatel'nymi apparatami [Current issues of creating automated training systems for training operators of ground control stations complexes with unmanned aerial vehicles], *Metodologicheskie aspekty razvitiya meteorologii spetsial'nogo naznacheniya, ekologii i sistem aerokosmicheskogo monitoringa: Sb. nauch. st. po materialam I Vserossiyskoy NPK (27-28 maya 2014 g.)* [Methodological aspects of the development of meteorology special purpose, environment and systems aerospace monitoring: Collection of scientific articles on materials of all-Russian SPC (27-28 may 2014)]. Voronezh: VUNTs VVS «VVA», 2014, pp. 219-223.
2. Verba V.S., Prishchepa Yu.V., Zlotnikov K.A. Kompleksy s bespilotnymi letatel'nymi apparatami. Kn. 2. Robototekhnicheskie komplekсы na osnove BLA [The complexes with unmanned aerial vehicles. Book 2. Robotic systems based on UAV]. Moscow: Radiotekhnika, 2016, 864 p.
3. Kravets O.Ya. Problems of Establishing of an Integrated Data Network of Regional Educational Institution, *Proceedings of the Second International Conference "Internet – Education – Science" IES-2000*. Vinnitsa: Uiversum, 2000, pp. 36-38.
4. Zolotovskiy Yu.L., Kravets V.V., Kravets O.Ya. Problemy sozdaniya distantsionnoy obrazovatel'noy seti munitsipal'nogo Vuza s predstavitel'stvami v regione [Problem creating remote-network municipal educational Institution with offices in the region], *Otkrytoe obrazovanie* [Open education], 2001, No. 1, pp. 62-69.
5. Glekov M.A. Osobennosti realizatsii dopolnitel'nogo professional'nogo obrazovaniya s ispol'zovaniem InterNet-tekhnologiy [Features of implementation of additional professional education using InterNet technologies], *Sovremennye problemy informatizatsii v tekhnike i tekhnologiyakh: Sb. trudov* [Contemporary problems of Informatization in engineering and technology. The collection of works]. Issue 7. Voronezh: Tsentral'no-Chernozemnoe knizhnoe izd-vo, 2002, pp. 85-86.
6. Glekov M.A., Kravets O.Ya., Sergeev M.Yu. Metodologiya i tekhnologiya sozdaniya kontenta v Internet-orientirovannykh sistemakh distantsionnogo obucheniya [Methodology and technology of content creation in Internet-based distance learning systems]. Voronezh: Nauchnaya kniga, 2005, 100 p.
7. Podval'nyy S.L., Sergeev M.Yu. Organizatsiya mnogovariantnoy informatsionnoy obrazovatel'noy sredy [Organization of multivariate information educational environment], *Vestnik VGTU. Ser. Vychislitel'nye i informatsionno-telekommunikatsionnye sistemy* [Bulletin of Voronezh state technical University. A series of Computational and information-telecommunication systems]. Issue 8.4. Voronezh: VGTU, 2004, pp. 55-59.
8. Sergeev M.Yu., Kravets O.Ya. Adaptivnaya tekhnologiya formirovaniya soderzhaniya, form, sredstv i metodov izucheniya distsipliny pripostroenii individual'noy traektorii obucheniya [Adaptive forming technology content, forms, means and methods of the discipline pristroyeni individual learning paths], *Sovremennye problemy informatizatsii v analize i sinteze tekhnologicheskikh i programmno-telekommunikatsionnykh sistem: Sb. trudov* [Modern problems of Informatization in the analysis and synthesis of technology and software and telecommunication systems: The collection of works]. Issue 16, ed. by Kravtsa O.Ya. Voronezh: Nauchnaya kniga, 2011, 151 p.
9. Volkov V.D., Il'ichev A.V., Grushchanskiy V.A. Effektivnost' proektiruemykh elementov slozhnykh system [Efficiency of the elements of complex systems]. Moscow: Vysshaya shkola, 1982, 280 p.
10. Glushkov V.M., Ivanov V.V., Yanenko V.M. Modelirovanie razvivayushchikhsya system [Modeling of developing systems]. Moscow: Nauka, 1986, 284 p.
11. Van Gig Dzh. Prikladnaya obshchaya teoriya system [Applied General systems theory]: In 2 book. Moscow: Mir, 1981.
12. Dubov Yu.A., Travkin S.I., Yakimets V.N. Mnogokriterial'nye modeli formirovaniya i vybora variantov system [Multicriteria models of forming and choosing variants of systems]. Moscow: Nauka, 1986, 144 p.
13. Zhelezov I.G. Slozhnye tekhnicheskie sistemy [Complex technical systems]. Moscow: Vysshaya shkola, 1984, 368 p.

14. *Mikhalevich V.S., Volkovich V.L.* Vychislitel'nye metody issledovaniya i proektirovaniya slozhnykh system [Computational methods for research and design of complex systems]. Moscow: Nauka, 1982, 288 p.
15. *Moiseev N.I.* Matematicheskie zadachi sistemnogo analiza [Mathematical problems of system analysis]. Moscow: Nauka, 1981, 488 p.
16. *Mushik E., Myuller P.* Metody prinyatiya tekhnicheskikh resheniy [Methods of decision-making]. Moscow: Mir, 1990, 164 p.
17. *Saati T., Kerns K.* Analiticheskoe planirovanie. Organizatsiya system [Analytical planning. The organization systems]. Moscow: Radio i svyaz', 1991, 362 p.
18. *Sadovskiy V.N.* Osnovaniya obshchey teorii system [The foundation of the general theory of systems]. Moscow: Nauka, 1974, 324 p.
19. *Chervinskiy V.N.* Metody sinteza sistem v tselevykh programmakh [Methods of synthesis of systems in the target programs]. Moscow: Nauka, 1987, 322 p.
20. *Pyatibratov A.P.* Vychislitel'nye sistemy, seti i telekommunikatsii [Computational systems, networks and telecommunications]. Moscow: KNORUS, 2013, 376 p.
21. *Olifer N.A., Olifer V.G.* Bazovye tekhnologii lokal'nykh setey [Basic technologies of local networks]. Available at: <http://www.citforum.ru/nets/ip/contents.shtml> (accessed 15 January 2017).
22. *Zwicky F.* Discovery Invention. Research through Morphological Approach. McMillan, 1969.
23. *Bellman R.* Dinamicheskoe programmirovaniye [Dynamic programming]. Moscow: Inostrannaya literatura, 1960, 400 p.
24. *Vasil'ev F.P.* Metody optimizatsii [Methods of optimization]. Moscow: Faktorial press, 2002, 824 p.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор М.Ю. Медведев.

Крайлюк Анатолий Дмитриевич – Акционерное общество «Концерн радиостроения «Вега»; e-mail: mail@vega.su; 121170, г. Москва, Кутузовский проспект, 34; тел.: +74997534004; к.т.н.; с.н.с.; зам. Генерального директора по научно-технической политике.

Злотников Константин Аркадьевич – Акционерное общество «Концерн радиостроения «Вега» (филиал в Санкт-Петербурге); e-mail: mail@spb.vega.su; 197376, г. Санкт-Петербург, ул. Академика Павлова, 14-а; тел.: +78124387654; д.т.н.; профессор; зам. директора Филиала в г. Санкт-Петербурге по производству и НИОКР.

Куклин Роман Викторович – Михайловская военная артиллерийская академия; e-mail: mvaa@mil.ru; 195009, г. Санкт-Петербург, ул. Комсомола, 22; тел.: +78122921469; адъюнкт.

Аунг Тан Хтут – e-mail: mvaa@mil.ru; адъюнкт.

Krailuk Anatolij Dmitrievich – “Vega” Radioengineering Corporation; e-mail: mail@vega.su; 34, Kutuzovskij prospect Moscow, 121170, Russia; phone: +749975340-04; cand. of eng. sc.; senior researcher; Deputy Director (scientific and technical strategy).

Zlotnikov Konstantin Arkad'evich – “Vega” Radioengineering Corporation (branch in Saint-Petersburg); e-mail: mail@spb.vega.su; 14-a, Akademica Pavlova street, Saint-Petersburg, 197376, Russia; phone: +78124387654; dr. of eng. sc.; professor; Deputy Director (research, development, manufacturing).

Kuklin Roman Viktorovich – Michailov Military Artillery Academy; e-mail: mvaa@mil.ru; 22, Komsomola street, Saint-Petersburg, 195009, Russia; phone: +78122921469; post-graduate.

Aung Tan Htut – e-mail: mvaa@mil.ru; post-graduate.