

УДК: 658.5

DOI: 10.53816/23061456_2022_9–10_13

**ОПТИМИЗАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ РЕШЕНИЙ
ПО РАЗВИТИЮ СИСТЕМЫ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ
ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

**OPTIMIZATION MODEL FOR FORMATION OF DECISIONS
FOR THE DEVELOPMENT OF A SYSTEM
OF MILITARY ROBOTIC COMPLEXES**

*Д-р техн. наук В.Г. Анисимов¹, д-р техн. наук, д-р воен. наук Е.Г. Анисимов², А.М. Ковальчук³,
канд. техн. наук А.М. Сазыкин⁴, канд. воен. наук С.Ю. Сысеев⁵*

D.Sc. V.G. Anisimov, D.Sc. E.G. Anisimov, A.M. Kovalchuk, Ph.D. A.M. Sazikin, Ph.D. S.Yu. Sysuev

¹*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,*

²*Российский университет дружбы народов, ³ФГКУ ГНИИМЦ ПВ, ⁴АО «НПО Спецматериалов»,*

⁵*Михайловская Военная артиллерийская академия*

В работе рассматривается оптимизационная модель формирования решений по развитию системы робототехнических комплексов военного назначения. Суть модели состоит в оптимизации типажа и объёмов производства робототехнических комплексов военного назначения для оснащения формирований войск (сил) на очередном этапе развития рассматриваемой системы. В отличие от известных оптимизационных моделей, опирающихся на формализацию цели оптимизации в форме линейной функции, в предлагаемой модели учитывается нелинейность целевой функции. Это повышает адекватность модели реальному процессу формирования решений по развитию системы робототехнических комплексов военного назначения. На основе предложенной модели может быть сформирован большой спектр конкретных методик обоснования как программы развития системы робототехнических комплексов, так и производственных программ предприятий, осуществляющих производство этих комплексов.

Ключевые слова: робототехнические комплексы военного назначения, система, развитие, формирование решений, оптимизация, модель.

The paper considers an optimization model for the formation of solutions for the development of a system of military robotic complexes. The essence of the model is to optimize the type and volume of production of military robotic systems to equip formations of troops (forces) at the next stage of development of the system under consideration. Unlike the well-known optimization models based on the formalization of the optimization goal in the form of a linear function, the proposed model takes into account the non-linearity of the objective function. This increases the adequacy of the model to the real process of forming decisions on the development of a system of military robotic systems. On the basis of the proposed model, a wide range of specific methods can be formed to justify both the development program for the system of robotic complexes and the production programs of enterprises engaged in the production of these complexes.

Keywords: military robotic complexes, system, development, decision making, optimization, model.

Введение

Важнейшей частью современной системы вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ) Вооруженных Сил Российской Федерации является система робототехнических комплексов военного назначения (РТК ВН) [1, 2]. Ее развитие осуществляется в рамках общей системы ВВСТ и представляет собой многошаговый (многоэтапный) процесс. На каждом его шаге определяются типаж и необходимые для удовлетворения потребностей войск (сил) объемы производства РТК ВН. При этом высокая стоимость разработки и производства РТК ВН, наряду с ограниченностью выделяемых ресурсов, обуславливают важную практическую задачу рационального использования ресурсов для развития системы РТК ВН [3, 4]. Эффективным инструментом ее решения является математическое моделирование [5]. При этом в настоящее время для ее решения в подавляющем большинстве используются различные варианты моделей линейного программирования, либо дискретного программирования с целевой функцией линейного вида [6–9]. Такие модели позволяют адекватно планировать процессы разработки и производства РТК ВН при низкой степени удовлетворения потребностей войск (сил). В то же время практика планирования разработки и производства РТК ВН объективно нуждается в моделях, позволяющих учитывать то обстоятельство, что по мере увеличения степени удовлетворения ими потребностей войск (сил), линейный характер функции полезности, отражающей цели развития системы РТК ВН, нарушается.

В настоящей работе предложены модель и алгоритм решения задачи оптимального планирования процесса производства РТК ВН, учитывающие нелинейный характер целевой функции.

Описание модели

Задачу оптимального планирования процесса производства РТК ВН можно представить следующим образом.

Заданы множество $J = \{1, 2, \dots, j, \dots, N\}$ — видов потребностей войск (сил), удовлетворение которых требует привлечения РТК ВН, и множество $I = \{1, 2, \dots, i, \dots, M\}$ типов РТК ВН, которые способны совместно обеспечить все виды

потребностей. Требуется из множества I типов РТК ВН выбрать такое их подмножество $I^* \subset I$ (ассортиментный ряд), которое обеспечит максимальную степень удовлетворения потребностей войск (сил) в условиях ограничения затрат на разработку, производство и оснащение формирований войск (сил) РТК ВН.

Обозначим:

c_i^0 — постоянные затраты на организацию производства РТК ВН i -го типа (предварительные затраты);

α_{ij} — необходимое для обеспечения единицы потребностей j -го вида количество РТК ВН i -го типа;

c_i — затраты, связанные с производством и доведением до потребителя одного РТК ВН i -го типа;

b_j — величина (объем) j -го вида потребностей;

M_0 — максимальное количество типов РТК ВН, которые могут быть включены в подмножество I^* ;

R_i — максимально количество РТК ВН i -го типа, которое может быть произведено в рассматриваемых условиях производства;

c_{ij} — величины затрат, связанные с обеспечением потребностей j -го вида РТК ВН i -го типа.

Взаимосвязь между элементами рассматриваемых множеств I и J можно формально представить с помощью матрицы $\|\beta_{ij}\|$, где

$$\beta_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если РТК ВН } i\text{-го типа может обеспечить } j\text{-й вид потребностей;} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (1)$$

Учитывая принятые обозначения, величины затрат, связанных с обеспечением РТК ВН i -го типа потребностей j -го вида можно представить соотношением

$$c_{ij} = \begin{cases} \alpha_{ij} c_i b_j, & \text{если } \beta_{ij} = 1; \\ \infty, & \text{если } \beta_{ij} = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Управляющие переменные представим в виде:

$$y_i = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-й тип РТК ВН включен} \\ & \text{в ассортиментный ряд, то есть } \sum_{j=1}^J \alpha_{ij} \geq 1; \\ 0, & \text{в противном случае;} \end{cases} \quad (3)$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } i\text{-й тип РТК ВН назначен для} \\ & \text{удовлетворения потребности } j\text{-го вида,} \\ & \text{то есть } \alpha_{ij} \geq 1; \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (4)$$

С учетом принятых обозначений задачу определения оптимального типажа и объемов производства РТК ВН можно формально представить следующим образом.

Определить план

$$\alpha^* = \|\alpha_{ij}^*\|, \quad i = 1, 2, \dots, I, \quad j = 1, 2, \dots, J, \quad (5)$$

производства и распределения РТК ВН, для которого

$$W(\alpha^*) = \sum_{j=1}^J W(\alpha_j^*) \geq (1 - \mu) \max_{v_j} \sum_{j=1}^J W_j(\alpha_j), \quad (6)$$

при ограничениях:

$$0 \leq \mu \leq 1; \quad (7)$$

$$\alpha_{ij} = 0, 1, 2, \dots; \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^M \alpha_{ij} x_{ij} \geq 1, \quad j = 1, 2, \dots, N; \quad (9)$$

$$x_{ij} \leq y_i, \quad i = 1, 2, \dots, M, \quad j = 1, 2, \dots, N; \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^M y_i \leq M_0, \quad M_0 \leq M; \quad (11)$$

$$C = \left(\sum_{i=1}^M c_i^o y_i + \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N c_{ij} x_{ij} \right) \leq C^{\max}; \quad (12)$$

$$\sum_{j=1}^J \alpha_{ij} \leq R_i, \quad i = 1, 2, \dots, I, \quad (13)$$

где $\alpha_j = \|\alpha_{ij}\|, i = 1, 2, \dots, I$ — j -й столбец матрицы α ;

$W(\alpha)$ — неубывающая вогнутая положительная функция, формально представляющая полный эффект от применения РТК ВН в соответствии с планом $\alpha = \|\alpha_{ij}\|$;

$W(\alpha_j)$ — неубывающая вогнутая положительная функция, формально представляющая

эффект от использования α_j РТК ВН для удовлетворения потребностей j -го вида;

μ — допустимый уровень относительного отклонения функции $W(\alpha^*)$ от ее максимально возможного значения;

C — затраты, связанные с разработкой, производством и оснащением войск (сил) РТК ВН, включенных в план;

$C^{\max}$ — максимально допустимый уровень затрат на реализацию плана разработки, производства и оснащения войск (сил) РТК ВН.

Условие (6) формально представляет цель программы производства РТК ВН и оснащения ими войск (сил).

Условие (7) характеризует требование, предъявляемое к точности решения рассматриваемой задачи оптимизации.

Ограничение (8) обеспечивает учет неделимого характера включаемых в план производства изделий (РТК ВН).

Ограничение (9) представляет требование полного обеспечения всех видов потребностей войск (сил) в РТК.

Из выражения (10) следует, что для обеспечения соответствующего вида потребностей можно назначать РТК ВН только тех типов, которые включены в ассортиментный ряд.

Ограничение (11) не позволяет включать в оптимальный ассортиментный ряд I^* более M_0 изделий.

Соотношение (12) учитывает ограничения на стоимость разработки, производства и доведения до потребителей РТК ВН.

Соотношение (13) учитывает ограниченность производственных возможностей и позволяет включить в план обеспечения РТК ВН из множества I потребностей, описываемых множеством J , только такое количество комплексов i -го вида, которое может быть реально произведено.

В целом же соотношения (1)–(13) формально представляют рассматриваемую задачу в виде дискретной нелинейной модели определения оптимальных объемов и типажа производимых РТК ВН в условиях детерминированных потребностей войск (сил). С вычислительной точки зрения эта модель является NP-сложной. Построение эффективных алгоритмов оптимизации для таких моделей требует учета особенностей каждой из них.

Описание алгоритма

Для решения задачи (1)–(13) предлагается алгоритм, основанный на реализации процедуры направленного перебора с возвращениями. Основу алгоритма составляет общая схема метода ветвей и границ. При этом дерево возможных вариантов строится в соответствии с дихотомической схемой ветвления. Каждая ветвь этого дерева формально представляет множество $s = \{\delta_{ij}\}$, $i = 1, 2, \dots, I$, $j = 1, 2, \dots, J$ фиксированных переменных $\delta_{ij} = \{0, 1\}$, для которого элементы фрагмента $\alpha^s = \|\alpha_{ij}^s\|$ плана, соответствующего s -й ветви, удовлетворяют условию

$$\alpha_{ij}^s = \sum_{\delta_{ij} \in s} \delta_{ij}, i = 1, 2, \dots, M, j = 1, 2, \dots, N. \quad (14)$$

В терминах рассматриваемой задачи формирования типажа РТК ВН переменные δ_{ij} , $i = 1, 2, \dots, M$, $j = 1, 2, \dots, N$ имеют следующий смысл:

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если на очередном шаге ветвления} \\ & \text{РТК ВН } i\text{-го типа выделяется для} \\ & \text{удовлетворения потребностей } j\text{-го вида,} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Введем обозначения:

G_s — множество переменных δ_{ij} , $i = 1, 2, \dots, M$, $j = 1, 2, \dots, N$, включение которых в s -ю ветвь дерева вариантов не ведет к нарушению ограничений (9)–(13);

$W(\alpha^s)$ — эффект, получаемый в случае реализации соответствующего s -й ветви фрагмента α^s плана удовлетворения РТК ВН потребностей войск (сил);

$\Delta W(\alpha^s + \delta_{ij})$ — приращение функции $W(\alpha^s)$ при включении переменной $\delta_{ij} = 1$ в s -ю ветвь дерева вариантов;

$Q(G_s)$ — оценка верхней границы приращения величины эффекта в случае включения в план переменных из множества G_s ;

$P_s(\delta_{ij} = 0)$ — оценка верхней границы значения целевой функции для s -й ветви при условии включения в нее переменной $\delta_{ij} = 0$;

$P_s(\delta_{ij} = 1)$ — оценка верхней границы значения целевой функции для s -й ветви при условии включения в нее переменной $\delta_{ij} = 1$.

С учетом принятых обозначений для оценки верхних границ значений целевой функции при

включении в s -ю ветвь переменных $\delta_{ij} = 0$ и $\delta_{ij} = 1$ можно воспользоваться соотношениями

$$P_s(\delta_{ij} = 0) = W(\alpha^s) + Q(G_s^1), \quad (15)$$

$$P_s(\delta_{ij} = 1) = W(\alpha^s) + \Delta W(\alpha^s + \delta_{ij}) + Q(G_s^1), \quad (16)$$

где G_s^1 — множество переменных δ_{ij} , $i = 1, 2, \dots, M$, $j = 1, 2, \dots, N$, которые после определения для выбранной на очередном шаге алгоритма ветвления переменной δ_{ij} значения $\delta_{ij} = 0$, или $\delta_{ij} = 1$ еще могут быть включены в рассматриваемую ветвь дерева без нарушения ограничений (9)–(13). Это множество получается путем исключения из G_s выбранной переменной δ_{ij} ;

$Q(G_s^1)$ — оценка верхней границы приращения величины эффекта при условии включения в план переменных из множества G_s^1 .

Величина $Q(G_s^1)$ может быть представлена в виде

$$Q(G_s^1) = \sum_{i=1}^M Q_i(G_s^1), \quad (17)$$

где $Q_i(G_s^1)$ — оценка верхней границы приращения величины эффекта при условии включения в план всех переменных i -го типа из множества G_s^1 .

Вычисление $Q_i(G_s^1)$, $i = 1, 2, \dots, I$, осуществляется на основе реализации следующей процедуры:

1. Положить $\alpha^a = \alpha^s$.
2. Положить $Q_i(G_s^1) = 0$.
3. Проверить выполнение условий (10)–(13).

Если не выполняется хотя бы одно из них, то перейти к п. 9. В противном случае — к п. 4.

4. Сформировать матрицу

$$W^a = \|\Delta W(\alpha^a + \delta_{ij})\|, \delta_{ij} \in G_s^1.$$

5. Определить в этой матрице максимальный элемент

$$\Delta W_i^* = \max_{\delta_{ij}} \{\Delta W(\alpha^a + \delta_{ij})\}, j = 1, 2, \dots, N$$

и соответствующий ему индекс j^* .

6. Положить $Q_i(G_s^1) = Q_i(G_s^1) + \Delta W_i^*$.

7. Положить $\alpha^a = \alpha^s + \delta_{ij^*}$, где $\delta_{ij^*} = 1$.

8. Перейти к п. 3.

9. Конец.

Представленная процедура позволяет определить верхнюю границу приращения эффекта при условии использования РТК ВН i -го ($i = 1, 2, \dots, I$) типа, разработка и применение которых не ведет к нарушению ограничений (10)–(13) на каждом шаге ветвления.

Действительно, из того, что $W_j(\alpha_j)$, $j = 1, 2, \dots, J$ — вогнутые неубывающие положительные функции, следует, что и $W(\alpha^s) = \sum_{j=1}^J W_j(\alpha_j^s)$ также вогнутые неубывающие положительные функции, а их приращения $\Delta W(\alpha^s + \delta_{ij})$ являются невозрастающими. Следовательно имеют место соотношения

$$\forall (G_s^* : G_s^* \subseteq G_s^1) \longrightarrow Q_i(G_s^1) \geq Q_i(G_s^*), \quad (18)$$

$$Q_i(G_s^1) \leq R_i^s \max_{\delta_{ij} \in G_s^1} \{ \Delta W(\alpha^s + \delta_{ij}) \}. \quad (19)$$

Из (16), (17) с учетом (15) следует, что

$$\forall (G_s^* : G_s^* \subseteq G_s^1) \longrightarrow W(G_s^1) \geq W(G_s^*), \quad (20)$$

$$Q(G_s^1) \leq \sum_{i=1}^I R_i^s \max_{\delta_{ij} \in G_s^1} \{ \Delta W(\alpha^s + \delta_{ij}) \}, \quad (21)$$

где $R_i^s = R_i - \sum_{j=1}^J \alpha_{ij}^s$, $i = 1, 2, \dots, I$.

Из (20) непосредственно следует, что величина $Q(G_s^1)$, определяемая по формуле (17) на основе рассмотренной процедуры, характеризует верхнюю оценку возможного приращения функции $W(\alpha^s)$ на множестве G_s^1 , а соотношения (15), (16) — верхние границы значений целевой функции для соответствующих продолжений s -й ветви дерева вариантов.

Важной характеристикой алгоритма ветвей и границ, существенно влияющей на его среднюю сходимость, является способ выбора переменной $\delta_{ij} \in G_s^1$, для включения в s -ю ветвь дерева вариантов на каждом шаге процедуры ветвления. В предлагаемом алгоритме для выбора очередной переменной используется матрица

$$\Delta W^s = \|\Delta W_{ij}^s\|, \quad i = 1, 2, \dots, I, \quad j = 1, 2, \dots, J, \quad (22)$$

элементы этой матрицы определяются по формуле:

$$\Delta W_{ij}^s = \begin{cases} \Delta W(\alpha^s + \delta_{ij}), & \text{при } \delta_{ij} \in G_s^1; \\ 0, & \text{при } \delta_{ij} \notin G_s^1. \end{cases} \quad (23)$$

Правило выбора при этом состоит в следующем.

Для каждой из строк матрицы (21), (22) определяются величины

$$\begin{aligned} \max \Delta W_{ij}^s &= \max_j \{ \Delta W_{ij}^s \}, \\ a_i &= \min_r \{ \max_j \Delta W_{ij}^s - \Delta W_{ir}^s \}, \\ i &= 1, 2, \dots, I, \quad r = 1, 2, \dots, J, \quad r \neq j^*, \end{aligned} \quad (24)$$

то есть определяется максимальный элемент $\max \Delta W_{ij}^s$ и разность a_i между этим элементом и ближайшим к нему по величине.

Аналогично для каждого из столбцов матрицы (22) определяются величины

$$\begin{aligned} \max \Delta W_{ij}^s &= \max_i \{ \Delta W_{ij}^s \}, \\ b_j &= \min_r \{ \max_i \Delta W_{ij}^s - \Delta W_{rj}^s \}, \\ r &= 1, 2, \dots, I, \quad j = 1, 2, \dots, J, \quad r \neq i^*. \end{aligned}$$

После чего выбирают индексы i, j , для которых $a_i = b_j = c$, где

$$\begin{aligned} c &= \max \left\{ \max_i [a_i], \max_j [b_j] \right\}, \\ i &= 1, 2, \dots, I, \quad j = 1, 2, \dots, J. \end{aligned}$$

Среди максимальных элементов в выделенных таким образом строках и столбцах выбирают наибольший по величине и соответствующую переменную δ_{ij} .

Эвристически рассмотренный способ отражает стремление выбрать переменную $\delta_{ij} \in G_s^1$ из тех, не включение которых в ветвь s дерева на очередном шаге, может повлечь наибольшие потери в приращении целевой функции при продолжении решения по ветви s . Причем в эту ветвь включается переменная из множества G_s^1 , обеспечивающая максимальное приращение целевой функции на очередном шаге ветвления.

Каждая ветвь s дерева вариантов заканчивается, если $G_s^1 = \emptyset$ (то есть получено допустимое решение) или если

$$P_s(\cdot) \leq W_0(1 - \mu), \quad (25)$$

где W_0 — значение целевой функции для лучшего из ранее полученных допустимых решений (рекорд).

Процедура поиска оптимального решения заканчивается, если для всех оставшихся ветвей выполняется условие (25). Последний рекорд W_0 является искомым оптимальным значением рассматриваемой целевой функции, а матрица (5), элементы которой определяются по формуле (15) для ветви s_0 дерева, соответствующей этому рекорду — оптимальным планом производства РТК ВН.

Обход дерева вариантов при практической реализации алгоритма целесообразно организовывать по правилу «иди вправо». Суть этого правила состоит в том, что при построении каждой ветви s из множества G_s^1 допустимых переменных выбираются $\delta_{ij} = 1$. Когда же рассматриваемая ветвь заканчивается, то по ней осуществляется возврат до последней в списке $\{\delta_{ij}\} \subset s$ переменной $\delta_{ij} = 1$, ей присваивается значение $\delta_{ij} = 0$ и осуществляется последовательное наращивание новой ветви путем включения в нее переменных $\delta_{ij} = 1$ из множества G_s^1 . При таком способе организации обхода дерева вариантов установлению оптимального решения (выполнению условия (25) для всех оставшихся ветвей) соответствует ситуация второго возврата в корневую вершину в ходе ветвления.

Использование этого правила обеспечивает анализ всех альтернативных вариантов допустимого плана производства РТК ВН и исключает повторы при их просмотре. Причем для реализации указанного правила достаточно хранить в памяти ЭВМ только текущий фрагмент разрабатываемого плана, наименьшее из ранее полученных значений W_0 целевой функции и ветвь s_0 дерева вариантов, соответствующую этому значению.

Указанное правило организации обхода дерева вариантов и рассмотренный способ выбора переменных на каждом шаге ветвления представляют собой приближенный алгоритм решения задачи (1)–(13). Этот алгоритм позволяет

получить первое допустимое решение за конечное число шагов. Получаемая в результате реализации рассмотренной процедуры матрица (6) отображает множество РТК ВН, включаемых в оптимальный ассортиментный ряд I^* :

$$\forall (i: \alpha_{ij} \geq 1) \longrightarrow (y_i = 1, \quad i \in I^*), \quad (26)$$

а также оптимальный план их применения для обеспечения потребностей войск (сил), определяемых множеством J .

Заключение

В целом рассмотренная модель формирования задачи решений по развитию системы робототехнических комплексов военного назначения могут быть сравнительно просто интегрированы в конкретные информационно-управляющие системы, поскольку требования к показателю эффективности и ограничения модели (1)–(13) носят достаточно общий характер, что позволяет формировать на их основе большой спектр конкретных методик обоснования как программы развития системы РТК ВН в целом, так и производственных программ предприятий, осуществляющих производство этих комплексов.

Литература

1. Чварков С.В., Селиванов А.А., Ковальчук А.М. Концептуальный подход к построению эмпирических основ формирования системы робототехнических комплексов военного назначения // Вестник Академии военных наук. 2022. № 1 (77). С. 109–119.
2. Ковальчук А.М., Романюта А.Е. Методологический подход к развитию системы робототехнических комплексов военного назначения // Вестник Академии военных наук. 2022. № 1 (77). С. 120–125.
3. Сауренко Т.Н., Чварков С.В. Экономическая политика в системе национальной безопасности Российской Федерации // Национальные приоритеты России. 2016. № 3 (21). С. 22–32.
4. Гарькушев А.Ю., Селиванов А.А. и др. Сущность и проблемы управления обеспечением безопасности и обороной государства // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2016. № 3 (93). С. 3–10.

5. Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г., Босов Д.Б. Сетевые модели и методы ресурсно-временной оптимизации в управлении инновационными проектами. – Москва, 2006. 117 с.

6. Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г. Формальная структура задач стандартизации и унификации при управлении развитием сложных технических систем // Защита и безопасность. 2004. № 4 (31). С. 26–31.

7. Гарькушев А.Ю., Сазыкин А.М. и др. Методические положения математического моделирования задач адаптивного распределения дискретных ресурсов при управлении войсками и оружием в режиме реального времени // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2016. № 1 (91). С. 32–37.

8. Бажин Д.А., Барабанов В.В., Филиппов А.А. Модели организации и проведения испытаний элементов системы информационного обеспечения применения высокоточных средств // Труды Военно-космической академии им. А.Ф. Можайского. 2015. № 648. С. 6–12.

9. Анисимов В.Г., Анисимов Е.Г., Черныш А.Я. Эффективность инвестиций. Методологические и методические основы. — Москва: Военная ордена Ленина, Краснознамённая, ордена Суворова Академия Генерального штаба Вооружённых сил Российской Федерации, 2006. 123 с.

10. Сауренко Т.Н. и др. Оптимизация параметрических рядов продукции предприятия с учетом случайности рыночного спроса и упущенной выгоды // Журнал исследований по управлению. 2022. Т. 8. № 2. С. 3–9.

References

1. Chvarkov S.V., Selivanov A.A., Kovalchuk A.M. Conceptual approach to the construction of empirical foundations for the formation of a system of robotic complexes for military purposes // Bulletin of the Academy of Military Sciences. 2022. No. 1 (77). Pp. 109–119.

2. Kovalchuk A.M., Romanyuta A.E. Methodological approach to the development of a system

of robotic complexes for military purposes // Bulletin of the Academy of Military Sciences. 2022. No. 1 (77). Pp. 120–125.

3. Saurenko T.N., Chvarkov S.V. Economic policy in the system of national security of the Russian Federation // National priorities of Russia. 2016. No. 3 (21). Pp. 22–32.

4. Garkushev A.Yu., Selivanov A.A. et al. The essence and problems of managing the security and defense of the state // News of the Russian Academy of Rocket and Artillery Sciences. 2016. No. 3 (93). Pp. 3–10.

5. Anisimov V.G., Anisimov E.G., Bosov D.B. Network models and methods of resource-time optimization in the management of innovative projects. — Moscow, 2006. 117 p.

6. Anisimov V.G., Anisimov E.G. Formal structure of tasks of standardization and unification in managing the development of complex technical systems. Zashchita i bezopasnost. 2004. No. 4 (31). Pp. 26–31.

7. Garkushev A.Yu., Sazykin A.M. et al. Methodical provisions of mathematical modeling of problems of adaptive distribution of discrete resources in the management of troops and weapons in real time // Izvestiya Rossiiskoi academy rocket and artillery sciences. 2016. No. 1 (91). Pp. 32–37.

8. Bazhin D.A., Barabanov V.V., Filippov A.A. Models for the organization and testing of elements of the information support system for the use of high-precision means // Proceedings of the Military Space Academy. A.F. Mozhaisky. 2015. No. 648. Pp. 6–12.

9. Anisimov V.G., Anisimov E.G., Chernysh AYa. Investment efficiency. Methodological and methodological foundations. — Moscow: Military Order of Lenin, Red Banner, Order of Suvorov Academy of the General Staff of the Armed Forces of the Russian Federation, 2006. 123 p.

10. Saurenko T.N. et al. Optimization of parametric series of enterprise production taking into account the randomness of market demand and lost profits // Journal of Research on Management. 2022. V. 8. No. 2. Pp. 3–9.