

УДК 681.3

DOI: [10.26102/2310-6018/2024.47.4.018](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2024.47.4.018)

## Оптимизация управления в организационной системе с альтернативными поставками на основе модели и алгоритма многовариантного выбора

Я.Е. Львович, Е.А. Шевырева✉

*Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Российская Федерация*

**Резюме.** В статье предлагается оптимизационный подход к принятию решений при управлении в организационной системе с альтернативными поставками на основе модели и алгоритма многовариантного выбора. Охарактеризованы основные особенности, определяющие структуру оптимизационной модели многовариантного выбора: многокритериальность, индивидуальная потребность в поставках по каждой номенклатурной единице и каждому объекту организационной системы, альтернативность выбора поставщика. Показано, что исходной является многокритериальная оптимизационная модель, в которой критерии заданы на множестве альтернативных переменных. Обоснован эквивалентный подход к задаче оптимизации с ограничением по суммарной цели поставок для каждого объекта и целевой функции в виде средневзвешенной свертки остальных показателей, влияющих на эффективность деятельности организационной системы. Для последующей алгоритмизации многовариантного выбора целевая функция и ограничения объединены аддитивной функцией, к которой предъявляется экстремальное требование макс-мина. Алгоритмическая процедура многовариантного выбора управленческих решений сформулирована путем интеграции рандомизированного поиска на основе задачи многоальтернативной оптимизации и генетического алгоритма. Показано преимущество по трудоемкости поиска при сочетании используемых алгоритмов в режиме чередования по сравнению с известным использованием генетического алгоритма только на завершающем этапе выбора окончательного управленческого решения на множестве доминирующих вариантов.

**Ключевые слова:** управление, организационная система, альтернативные поставки, оптимизация, рандомизированный поиск, генетический алгоритм.

**Для цитирования:** Львович Я.Е., Шевырева Е.А. Оптимизация управления в организационной системе с альтернативными поставками на основе модели и алгоритма многовариантного выбора. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2024;12(4). URL: <https://moitvivr.ru/ru/journal/pdf?id=1727> DOI: 10.26102/2310-6018/2024.47.4.018

## Optimization of management in an organizational system with alternative supplies based on a multivariate choice model and algorithm

Ya.E. Lvovich, E.A. Shevyreva✉

*Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, the Russian Federation*

**Abstract:** The article proposes an optimization approach to decision-making in management in an organizational system with alternative supplies based on a multivariate choice model and algorithm. The main features that define the structure of optimization model of multivariate choice are characterized: multicriteria, individual need for deliveries for each nomenclature unit and each object of the organizational system, the choice of supplier. It is shown that the initial model is a multi-criteria optimization model in which the criteria are specified on a set of alternative variables. An equivalent approach to the optimization problem with a constraint on the total supply goal for each object and the

target function in the form of a weighted average convolution of the other indicators affecting the performance of the organizational system is justified. For the subsequent algorithmic multivariate selection, the target function and constraints are combined with an additive function to which extreme requirement of max-min is imposed. The algorithmic procedure of multivariate selection of management decisions is formulated by integrating a randomized search based on the task of multi-alternative optimization and genetic algorithm. The advantage in terms of search labor intensity when combining the used algorithms in the alternation mode in comparison with the known use of genetic algorithm only at the final stage of selecting the final management decision on the set of dominating options is shown.

**Keywords:** management, organizational system, alternative supplies, optimization, randomized search, genetic algorithm.

**For citation:** Lvovich Ya.E., Shevyreva E.A. Optimization of management in an organizational system with alternative supplies based on a multivariate choice model and algorithm. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2024;12(4). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1727> DOI: 10.26102/2310-6018/2024.47.4.018 (In Russ.).

## Введение

Одним из классов организационных систем являются организационные системы с альтернативными поставками. Эти системы характеризуются объединением управляющего центра объектов с однородными видами деятельности и однородной номенклатурой поставок (строительные организации, торговые сети, системы лекарственного обеспечения и т. п.). Особенностью является то, что по каждой номенклатурной единице существует пул поставщиков. Это определяет альтернативность поставок. Выбор наилучшего решения, как задача оптимизации, рассмотрен в литературе для процесса управления запасами [1, 2]. Однако в этих работах основная направленность на оптимизацию объемов запасов. В нашем случае требуется учитывать множество показателей, характеризующих каждого поставщика, и осуществлять принятие управленческого решения в соответствии с требованиями управляющего центра [3] к эффективности функционирования всей организационной системы, объединяющей множество объектов [3, 4]. Таким образом, процесс принятия решения определяется многовариантным выбором, связанным с разнообразными комбинациями альтернативных поставок и учитывающим потребности объектов и требования управляющего центра к показателям эффективности. Исследуемый процесс реализуется в рамках трехэтапной процедуры, рассмотренной в [5] и базируется на экспертно-оптимизационном подходе. При этом формирование оптимизационной модели и алгоритмизация на ее основе поиска управленческого решения характеризуются как функции многовариантного виртуального эксперта (МВЭ).

Разнообразие множеств альтернативных поставок, потребностей объектов, требований к показателям эффективности учитывается МВЭ в виде модели многоальтернативной оптимизации [6]. Алгоритмизация процесса принятия управленческих решений в этом случае основывается на направленном рандомизированном поиске оптимального варианта [6]. Поскольку рандомизированный поиск позволяет сформировать только множество доминирующих (перспективных) вариантов, в [7] предполагается осуществлять выбор окончательного решения с применением эволюционно-генетического алгоритма. Общность поисковых процедур на основе модели многоальтернативной оптимизации [6] и генетических алгоритмов [8, 9] состоит в том, что они реализуются в вероятностной среде. Поэтому более эффективным подходом к их интеграции в случае ограниченного количества альтернативных поставок предлагается рассмотреть использование генетических алгоритмов не только на

завершающем этапе принятия решений, но и при определении начальных условий и последующей коррекции вероятностных характеристик рандомизированного поиска.

В связи с перечисленными особенностями процесса принятия управленческих решений в организационной системе с альтернативными поставками цель статьи состоит в разработке составляющих МВЭ, направленных на возможность интеграции в едином цикле формирования модели многоальтернативной оптимизации и алгоритмизации многовариантного выбора в режиме чередования рандомизированного поиска и генетического алгоритма.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- сформировать оптимизационную модель многовариантного выбора при управлении в организационной системе с альтернативными поставками;
- разработать алгоритмическую процедуру многовариантного выбора управленческого решения путем интеграции рандомизированного поиска и генетического алгоритма в режиме чередования.

### Формирование оптимизационной модели многовариантного выбора

Выше были отмечены особенности, влияющие на формирование оптимизационной модели многовариантного выбора при управлении в организационной системе с альтернативными поставками. В первую очередь, это многокритериальность, связанная с оценками поставок по множеству показателей  $j = \overline{1, J}$  [1]: цена ( $j = 1$ ), качество ( $j = 2$ ), надежность ( $j = 3$ ), условия платежа ( $j = 4$ ), возможность выполнения внеплановых поставок ( $j = 5$ ), финансовое состояние поставщика ( $j = 6$ ).

Введем обозначение для перечисленных показателей:

$$f_j, j = \overline{1, J}, \quad (1)$$

где в данном случае  $J = 6$ .

Во-вторых, следует учитывать однородность номенклатуры  $n = \overline{1, N}$  для всей совокупности объектов организационной системы и индивидуальную потребность в поставках из множества  $n = \overline{1, N}$  объекту  $o_i, i = \overline{1, I}, n_i = \overline{1, N_i} \in \overline{1, N}$ .

Альтернативный характер поставок связан с наличием пула поставщиков по каждой номенклатурной единице

$$m_{ni} = \overline{1, M_{ni}}, \quad (2)$$

где  $\bigcap_{\substack{i=\overline{1, I} \\ n_i=\overline{1, N_i}}} m_{ni} = m = \overline{1, M}$  характеризует единое множество поставщиков для

организационной системы в целом. В этом случае показатели (1) для каждого  $m_{ni}$  принимают определенное значение:

$$f_{jm_{ni}}, j = \overline{1, J}, i = \overline{1, I}, n = \overline{1, N}, m = \overline{1, M}, \quad (3)$$

а для каждого  $i$ -го объекта на основе значений (3) вычисляются интегральные оценки

$$\varphi_{ji}(f_{jm_{ni}}), j = \overline{1, J}, i = \overline{1, I}. \quad (4)$$

Формализуем разнообразие (2), (3) введением альтернативных переменных [6]:

$$x_{jm_{ni}} = \begin{cases} 1, \text{ если поставку } i \text{ – му объекту } n \text{ – й номенклатурной единицы} \\ \text{осуществляет } m \text{ – й поставщик,} \\ 0, \text{ в противном случае.} \end{cases} \quad (5)$$

$$i = \overline{1, I}, n = \overline{1, N}, m = \overline{1, M}.$$

Возможность определить значения (3) для каждого сочетания значений альтернативных переменных (5) обозначим зависимостью

$$f_j(x_{m_{ni}}), j = \overline{1, J}, i = \overline{1, I}, n = \overline{1, N}, m = \overline{1, M}. \quad (6)$$

С учетом многокритериальности приводим к следующей модели многоальтернативной оптимизации [6]:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^I \varphi_{ji}(f_j(x_{m_{ni}})) &\rightarrow \text{extr}, j = \overline{1, J}, \\ x_{m_{ni}} &= \begin{cases} 1, & i = \overline{1, I}, n = \overline{1, N}, m = \overline{1, M}. \\ 0, & \end{cases} \end{aligned} \quad (7)$$

При решении задачи (6) должно выполняться условие: для  $n$ -й номенклатурной единицы  $i$ -го объекта выбирается только один поставщик:

$$\sum_{m_{ni}=1}^{M_{ni}} x_{m_{ni}} = 1, n_i = \overline{1, N_i}. \quad (8)$$

Для перехода от (6) к канонической форме оптимизационной модели используют два приема [10]. Первый: один из показателей выбирается в качестве экстремального, по остальным определяются граничные требования. Второй: осуществляется свертка показателей в единый критерий оптимизации. В отличие от этих критериев предлагается комбинированный вариант: для части показателей формируется свертка, к которой предъявляется экстремальное требование, остальные образуют множество ограничений.

В случае альтернативных поставок сформируем свертку показателей  $j = \overline{2, 6}$ . При этом для показателей  $j = 2, 4, 5, 6$  устанавливаются экспертные оценки на единой числовой шкале  $[0, 1]$  [11], где значение единица характеризует максимальный уровень; показатель  $j = 3$  (надежность) оценивается количественно вероятностью  $m$ -го поставщика выполнять свои обязательства в установленный срок тоже принимает значения на числовой шкале  $[0, 1]$  и требует максимизации. Таким образом, все показатели являются безразмерными величинами, принимающими значения на единой шкале, требуют максимизации, поэтому их целесообразно объединить в единый критерий оптимизации с использованием средневзвешенной свертки [10].

Показатель  $j = 1$  (цена) является количественным и по нему для каждого  $i$ -го объекта устанавливается граничный уровень на поставку  $C_i^{\text{rp}} = \overline{1, I}$ .

Принятый в работе комбинированный вариант позволяет от (6) перейти к следующей оптимизационной модели:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^I \sum_{j=2}^6 a_j \varphi_{ji}(f_j(x_{m_{ni}})) &\rightarrow \text{max}, j = \overline{1, J}, \\ \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N C_{mni} x_{m_{ni}} &\leq C_i^{\text{rp}}, i = \overline{1, I}, \\ \sum_{m_{ni}=1}^{M_{ni}} x_{m_{ni}} &= 1, n_i = \overline{1, N_i}, \\ x_{m_{ni}} &= \begin{cases} 1, & i = \overline{1, I}, n = \overline{1, N}, m = \overline{1, M}, \\ 0, & \end{cases} \end{aligned} \quad (9)$$

где  $a_j$  – весовые коэффициенты средневзвешенной свертки,

$$0 \leq a_j \leq 1, j = \overline{1, J}, \sum_{j=1}^J a_j = 1,$$

$C_{mni}$  – цена поставки  $m$ -го поставщика  $n$ -й номенклатурной единицы для  $i$ -го объекта организационной системы.

Весовые коэффициенты  $a_j, j = \overline{1, J}$  будем определять на основе группового экспертного оценивания методом априорного ранжирования [10]. Этот метод позволяет определить ранги показателей  $z_j, j = \overline{1, J}$  на целочисленной дискретной шкале  $[\overline{1, J}]$ . При этом наиболее значимый показатель имеет ранг, равный единице, т. е. наименьшее значение на числовой шкале. Наиболее значимый показатель должен иметь наибольшее значение, применим следующее преобразование:

$$a_j = \frac{\frac{1}{z_j}}{\sum_{j=1}^J \frac{1}{z_j}} \quad j = \overline{1, J}.$$

Для последующей алгоритмизации многовариантного выбора при управлении в организационной системе с альтернативными поставками перейдем от оптимизационной модели (9) с ограничениями к эквивалентной оптимизируемой функции без ограничений [10]:

$$F(x_{m_{ni}}, y_i) = \max_{x_{m_{ni}}} \min_{y_i \geq 0} \left[ \sum_{i=1}^I \sum_{j=2}^6 a_j \varphi_{ji} (f_j(x_{m_{ni}})) + \sum_{i=1}^I y_i (C_i^{ГП} - \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N C_{mni} x_{m_{ni}}) \right], \quad (10)$$

где  $y_i \geq 0, i = \overline{1, I}$  – коэффициенты, регулирующие соблюдение граничных требований при поиске оптимального решения, а условие (8) учитывается алгоритмически.

### Алгоритмическая процедура многовариантного выбора управленческих решений

Алгоритмическую процедуру многовариантного выбора управленческих решений сформируем путем интеграции рандомизированного поиска на основе задачи многоальтернативной оптимизации и генетического алгоритма в режиме чередования итерационных циклов соответственно  $k1 = 1, 2, \dots$  и  $k2 = 1, 2, \dots$ . Такая интеграция основывается на стохастическом характере среды, в которой реализуются авторитмические операции.

Поскольку выбор связан с определением  $m_{ni}$ -го поставщика на множестве  $m_{ni} = \overline{1, M_{ni}}, n_i = \overline{1, N_i}, i = \overline{1, I}$  основной вероятностной характеристикой стохастической среды является распределение дискретной случайной величины  $\tilde{m}_{ni} = \overline{1, M_{ni}}$ .

$$p_{m_{ni}} = p(\tilde{m}_{ni} = m_{ni}), \quad n_i = \overline{1, N_i}, \quad i = \overline{1, I}, \quad \sum_{m_{ni}=1}^{M_{ni}} p_{m_{ni}} = 1. \quad (11)$$

С использованием распределения (11)  $\tilde{m}_{ni} = \overline{1, M_{ni}}$  находится следующим образом [10]: генерируется случайное число  $\bar{\xi}$  из последовательности псевдослучайных чисел, равномерно распределенных на интервале  $[0, 1]$ ; если  $p_{1_{ni}} \leq \bar{\xi}$ , то  $\tilde{m}_{ni} = 1$ , в противном случае осуществляется сравнение с  $p_{1_{ni}} + p_{2_{ni}}$ ; если  $p_{1_{ni}} + p_{2_{ni}} \leq \bar{\xi}$ , то сравнение с  $p_{1_{ni}} + p_{2_{ni}} + p_{3_{ni}}$  и т. д.

Пусть  $\tilde{m}_{ni} = m'_{ni} \in \overline{1, M_i}$ . На множестве альтернативных переменных (5) это означает, что

$$x_{m'_{ni}} = 1, x_{m_{ni}} = 0 \quad \forall m_{ni} \neq m'_{ni}, \quad n_i = \overline{1, N_i}, \quad i = \overline{1, I}. \quad (12)$$

В этом случае (12) удовлетворяет уравнению (8).

Согласно [6] итерационный цикл  $k1$  начинается с равномерного распределения (11) на первом шаге  $k1 = 1$

$$p_{m_{ni}}^1 = \frac{1}{M_{ni}}, \quad m_{ni} = \overline{1, M_{ni}}, \quad n_i = \overline{1, N_i}, \quad i = \overline{1, I}. \quad (13)$$

Коррекция значений  $p_{m_{ni}}^k$  на  $k$ -й итерации осуществляется путем вариационного моделирования [7]. Для вычисления вариации будем генерировать два значения случайной дискретной величины  $\tilde{m}_{ni}$  для каждой  $n$ -й номенклатурной единицы  $i$ -го объекта:  $\tilde{m}_{ni} = m'_{ni}$ ,  $\tilde{m}_{ni} = m''_{ni}$ . Тогда к значениям альтернативных переменных (12) добавляются значения

$$x_{m''_{ni}} = 1, x_{m_{ni}} = 0 \forall m_{ni} \neq m''_{ni}, n_i = \overline{1, N_i}, i = \overline{1, I}. \quad (14)$$

Для значений (12) вычисляются значения оптимизируемой функции (10) –  $F(x_{m'_{ni}})$ , а для (14) –  $F(x_{m''_{ni}})$ , вариация определяется следующим образом:

$$\Delta F = F(x_{m'_{ni}}) - F(x_{m''_{ni}}). \quad (15)$$

Величина (15) принимает случайные значения в зависимости от генерации значений случайной дискретной величины  $\tilde{m}_{ni}$ . На основании нескольких случайных значений  $\Delta F$  определяется распределение  $\tilde{m}_{ni}$  для  $(k+1)$  итераций

$$p_{m_{ni}}^{k+1} = p_{m'_{ni}}^k + \kappa(\Delta F). \quad (16)$$

Для сохранения условия  $\sum_{m_{ni}=1}^{M_{ni}} p_{m_{ni}}^{k+1} = 1$ , вероятности для остальных значений  $m_{ni} \neq m'_{ni}$  рассчитываются следующим образом [5]:

$$p_{m_{ni}}^{k+1} = \frac{(1-p_{m'_{ni}}^{k+1})A_m}{\sum_{\substack{m=1 \\ m \neq m'_{ni}}}^{M_{ni}} A_m}, A_m = \frac{p_{m'_{ni}}^k}{p_{m'_{ni}}^k} (m_{ni} \neq m'_{ni}).$$

Формула преобразования  $\kappa(\Delta F)$  приведена в [6].

Останов итерационного процесса  $k_1$  осуществляется по заданному числу итераций  $K_1$ .

Рандомизированный поиск не позволяет найти однозначное решение задачи (9). Однако есть возможность сформировать множество доминирующих решений

$$X_l = (X_{l1}, \dots, X_{li}, \dots, X_{Li}), \quad (17)$$

где  $l = \overline{1, L}$  – нумерационное множество доминирующих вариантов,

$$X_{li} = (X_{l1i}, \dots, X_{ln_i}, \dots, X_{ln_i}), \quad (18)$$

$$X_{ln_i} = (X_{l1n_i}, \dots, X_{lmn_i}, \dots, X_{lmn_i}). \quad (19)$$

Множество (19) значений альтернативных переменных соответствует (12).

Наиболее распространенным способом выбора окончательного управленческого решения  $X^* \in \{X_l, l = \overline{1, L}\}$  является экспертное оценивание [6]. В [7] предложено провести оптимизацию на множестве доминирующих вариантов с использованием генетического алгоритма и получить окончательное управленческое решение. Основываясь на накопительном эффекте применения генетического варианта на заключительном этапе предлагается интеграция с рандомизированным поиском в режиме чередования. При этом процедура начинается с использования генетического алгоритма при заданном равномерном распределении (13), так как многочисленные эксперименты [7] показали, что в случае рандомизированного поиска надо начинать с неравномерного распределения (11), полученного с использованием наглядно-образных механизмов интуиции эксперта.

Каждый цикл использования генетического алгоритма представляет собой итерационный процесс  $k_2$ . При  $k_2=1$  необходимо случайным образом сформировать



множество (17) для каждого  $i = \overline{1, I}$ ,  $n_i = \overline{1, N_i}$ , где случайно определяются сгенерированные в (12) значением  $\tilde{m}_{ni} = m_{ni}$  в начальном цикле с распределением (13), а в последующих – (16) при  $k = K$ . Особенностью организационной системы с альтернативными поставками является различное число поставщиков  $M_{ni}$ . Поэтому требуется сформированное случайным образом множество скорректировать для применения генетического алгоритма: каждый блок (19) должен иметь одинаковую длину [9]. Выбирается блок с  $M_{ni}' = \max_{n_i=1, N_i} M_{ni}$ , при  $M_{ni} < M_{ni}'$  в блоки на свободные места добавляются фиктивные значения переменных, равные нулю.

Далее выполняются следующие алгоритмические операции:

1. Из множества (17) случайным образом выбирается родительская пара, так чтобы хэммингово расстояние между соответствующими кодировками из значений переменных 0 и 1 не было равно нулю.

2. Согласно схеме скрещивания для выбранной родительской пары с заданной вероятностью  $p_c$  генерируется одна или несколько кодировок потомков.

3. Для родителей и потомков вычисляется функция принадлежности на основе значений оптимизируемой функции (10)

$$\mu(X_l) = F(X_l),$$

где  $y_i = y_i^{k_1}$ , полученное на основе градиентного алгоритма [10]

$$y_{i1}^{k+1} = \max\{0, y_i^{k_1} - \gamma(C_i^{\text{гп}} - \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N C_{mni} x_{mni}^{k_1})\},$$

$\gamma$  – величина шага, задаваемая экспертом на начальной стадии итерационного процесса  $k_1$ .

4. Из репродукционного множества, полученного в п. 3, при помощи оператора селекции получить следующую популяцию на итерации, перейти к п. 2.

5. Провести останов итерационного процесса при  $k_2 = K_2$  и перейти к следующему циклу рандомизированного поиска.

После каждого цикла  $r = 1, 2$  рандомизированного поиска будет проверяться выполнение условия:

$$|F_r(x_{m_{ni}}^{K_{1r}}, y_i^{K_{1r}}) - F_{r-1}(x_{m_{ni}}^{K_{1(r-1)}}, y_i^{K_{1(r-1)}})| \leq \varepsilon, \quad (20)$$

где  $\varepsilon > 0$  – малое число. При выполнении условия (20) с номером цикла  $r = R$  осуществляется останов поисковой процедуры и определяется управленческое решение

$$m_{ni}^* = m_{ni}^{K_{1R}}.$$

Суть его в том, что из всех альтернативных поставок  $n$ -й номенклатурной единицы для  $i$ -го объекта выбирается поставщик с номером  $m_{ni}^* \in \overline{1, M}$ .

### Заключение

Одним из классов организационных систем, в которых управляющий центр объединяет объекты с однородными видами деятельности и однородной номенклатурой поставок в деятельную среду, являются организационные системы с альтернативными поставками. Их особенностью является возможность вариации поставками каждой номенклатурной единицы для каждого объекта.

При объединении таких объектов в организационное целое возникает задача многовариантного выбора поставок, обеспечивающая оптимизацию управления вариациями по множеству показателей, которые характеризуют: цену, качество,

надежность, условия платежа, возможность внеплановых поставок, финансовое состояние поставщика.

Исходной оптимизационной моделью при управлении в организационных системах с альтернативными поставками является многокритериальная модель. Эквивалентной для последующего решения методами многоальтернативной оптимизации приемлемо использовать модель, в которой экстремальные требования определяются средневзвешенной сверткой всех показателей, кроме цены, а по суммарной цене для каждого объекта установлено граничное требование.

Для принятия управленческого решения на основе эквивалентной оптимизационной модели целесообразна интеграция рандомизированного поиска на множестве альтернативных переменных и генетического алгоритма в режиме чередования.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Вильмс М.А., Гранин С.С., Мандель А.С. Моделирование процесса управления запасами в цепи поставок при наличии нескольких поставщиков. В сборнике: *Управление развитием крупномасштабных систем MLSD'2017: Труды десятой международной конференции в двух томах: Том I, 02–04 октября 2017 года, Москва, Россия*. Москва: Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук; 2017. С. 186–191.
2. Гранин С.С., Мандель А.С. Оптимизация процесса управления запасами в цепи поставок при наличии альтернативных поставщиков. *Проблемы управления*. 2018;(6):24–28. <https://doi.org/10.25728/pu.2018.6.3>  
Granin S.S., Mandel A.S. Optimization of inventory management process in a supply chain having alternative suppliers. *Problemy Upravlenia*. 2018;(6):24–28. (In Russ.). <https://doi.org/10.25728/pu.2018.6.3>
3. Бурков В.Н., Кузнецов Н.А., Новиков Д.А. Механизмы управления в сетевых структурах. *Автоматика и телемеханика*. 2002;(12):96–115.  
Burkov V.N., Kuznetsov N.A., Novikov D.A. Control Mechanisms in Network Structures. *Automation and Remote Control*. 2002;63(12):1947–1965. <https://doi.org/10.1023/A:1021695432453>
4. Львович Я.Е., Львович И.Я., Чопоров О.Н. и др. *Оптимизация цифрового управления в организационных системах*. Воронеж: Издательско-полиграфический центр «Научная книга»; 2021. 191 с.
5. Львович И.Я. *Принятие решений на основе оптимизационных моделей и экспертной информации*. Воронеж: Издательско-полиграфический центр «Научная книга»; 2023. 232 с.
6. Львович Я.Е. *Многоальтернативная оптимизация: теория и приложения*. Воронеж: Издательство «Квартал»; 2006. 415 с.
7. Львович И.Я. *Вариационное моделирование и оптимальный выбор проектных решений*. Воронеж: ВГТУ; 1997. 114 с.
8. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. *Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы*. Москва: Горячая линия – Телеком; 2008. 383 с.
9. Батищев Д.И., Костюков В.Е., Неймарк Е.А., Старостин Н.В. *Решение дискретных задач с помощью эволюционно-генетических алгоритмов*. Нижний Новгород: Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского; 2011. 199 с.



10. Львович И.Я., Львович Я.Е., Фролов В.Н. *Информационные технологии моделирования и оптимизации. Краткая теория и приложения*. Воронеж: Издательско-полиграфический центр «Научная книга»; 2016. 444 с.
11. Щукин О. *Измерение и оценка деятельности организации*. Москва: Lambert Academic Publishing; 2011. 180 с.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Львович Яков Евсеевич**, доктор технических наук, профессор, президент Воронежского института высоких технологий, Воронеж, Российская Федерация. **Yakov E. Lvovich**, Doctor of Technical Science, Professor, President of Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, the Russian Federation.  
*e-mail:* [ylvovich@icloud.com](mailto:ylvovich@icloud.com)  
ORCID: [0000-0002-7051-3763](https://orcid.org/0000-0002-7051-3763)

**Шевырева Елена Александровна**, аспирант Воронежского института высоких технологий, Воронеж, Российская Федерация. **Elena A. Shevyreva**, postgraduate student of Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, the Russian Federation.  
*e-mail:* [koluch\\_ledi@mail.ru](mailto:koluch_ledi@mail.ru)

*Статья поступила в редакцию 23.10.2024; одобрена после рецензирования 08.11.2024; принята к публикации 14.11.2024.*

*The article was submitted 23.10.2024; approved after reviewing 08.11.2024; accepted for publication 14.11.2024.*