

УДК 681.3

DOI: [10.26102/2310-6018/2026.55.4.008](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2026.55.4.008)

Оптимизационно-имитационное моделирование процесса управления распределением ресурсного обеспечения в организационной системе с территориально распределенной деятельностной средой и переменным объемом деятельности

Ю.Ю. Боклашов¹, Д.В. Иванов², Я.Е. Львович¹

¹Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Российская Федерация

²Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Российская Федерация

Резюме. Статья посвящена интеграции оптимизационного подхода и имитационного моделирования при управлении распределением ресурсного обеспечения в организационной системе с территориально распределенной деятельностной средой и переменным объемом деятельности. Показано, что материалы и методы исследования определяются системным подходом в форме структурного моделирования функционирования организации и управления ею. Структуризация взаимодействия управляющего центра с объектами деятельности позволяет установить количественные характеристики связей, значения которых фиксируются в рамках цифрового мониторинга системы. Базовым компонентом оптимизационно-имитационного моделирования является многоальтернативный выбор приоритетных объектов при распределении интегрированного ресурса, балансовое условие и случайный поток заявок, характеризующих требования объектов к выполнению работ в рамках деятельностной среды. Переменный характер объема деятельности в системе учитывается при многотактном распределении интегрированного ресурсного обеспечения. При этом нумерационное множество объектов на следующем такте после проведения многоальтернативной оптимизации включает элементы, не вошедшие в редуцированное множество, и случайную составляющую, определяемую результатами имитационного моделирования организации. Показано, что одноктактный процесс оптимизации оперирует с реальными текущими данными и дает возможность определить нумерационное множество приоритетных объектов для получения ресурсного обеспечения в деятельностную среду. Многотактный процесс оптимизационно-имитационного моделирования позволяет генерировать условно реальные данные потребности в интегрированном ресурсе в таком количестве, что совместно с ретроспективными данными цифрового мониторинга образует репрезентативную обучающую выборку для машинного обучения прогностической модели. Установлены управленческие решения, которые принимаются с использованием прогностических моделей как на стадии функционирования исследуемой организационной системы, так и на стадии ее развития.

Ключевые слова: организационная система, управление, оптимизация, имитационное моделирование, машинное обучение, прогнозирование.

Для цитирования: Боклашов Ю.Ю., Иванов Д.В., Львович Я.Е. Оптимизационно-имитационное моделирование процесса управления распределением ресурсного обеспечения в организационной системе с территориально распределенной деятельностной средой и переменным объемом деятельности. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2026;14(4). URL: <https://moitvivr.ru/ru/journal/article?id=2191> DOI: 10.26102/2310-6018/2026.55.4.008

Optimization-simulation modeling for resource allocation management in geographically distributed organizational systems with variable workloads

Yu.Yu. Boklashov¹, D.V. Ivanov², Ya.E. Lvovich¹

¹*Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, the Russian Federation*

²*Voronezh State Technical University, Voronezh, the Russian Federation*

Abstract. This paper addresses the integration of optimization approaches and simulation modeling to manage resource allocation within an organizational system characterized by a geographically distributed operational environment and variable activity volumes. The research methodology employs a systems approach, utilizing structural modeling to represent the organization's functioning and management. By structuring the interaction between the control center and operational units, the study establishes quantitative connection characteristics, which are recorded via the system's digital monitoring. The core component of this optimization-simulation model involves the multi-alternative selection of priority units for integrated resource allocation, subject to balance constraints and a stochastic flow of requests defining work requirements. Variable activity volumes are accounted for through a multi-period distribution of integrated resources. Consequently, the set of candidate units for the subsequent period includes those excluded from the optimized subset in the previous step, alongside a random component determined by the simulation results. The study demonstrates that single-period optimization utilizes real-time data to identify priority units for resource allocation. Furthermore, the multi-period optimization-simulation process generates sufficient synthetic data on resource demand; when combined with retrospective monitoring data, this forms a representative training dataset for machine learning predictive models. Finally, the paper defines management decisions supported by these predictive models for both the operational and developmental stages of the organizational system.

Keywords: organizational system, management, optimization, simulation modeling, machine learning, forecasting.

For citation: Boklashov I.I., Ivanov D.V., Lvovich Ya.E. Optimization-simulation modeling for resource allocation management in geographically distributed organizational systems with variable workloads. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2026;14(4). (In Russ.). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/article?id=2191> DOI: 10.26102/2310-6018/2026.55.4.008

Введение

Организации, в которых централизованное управление охватывает территориально распределенную деятельность среду, являются одним из классов организационных систем [1]. Инвариантный подход к повышению эффективности управления в территориально распределенных организационных системах с ориентацией на использование методов оптимизации и его проблемно-ориентированные реализации рассмотрены в [2]. При этом задача принятия управленческого решения на основе оптимизационного моделирования исследуется для случая фиксированного объема деятельности и ресурса за один временной период (такт). Более подробный анализ функционирования этого класса систем в монтажной деятельности [3] показывает, что в реальных условиях объем деятельности является переменным при переходе от одного временного периода к следующему. Более сложный характер функционирования исследуется и при осуществлении структурного моделирования [4].

Для одновременного учета территориальной распределенности деятельностью среды, переменных объемов деятельности важную роль играет фиксация временных рядов показателей средствами цифрового мониторинга с последующей их обработкой в задачах моделирования и оптимизации на основе цифровых технологий [5]. Эти данные и оптимизационные модели, предложенные в [2], следует использовать для

формирования многотактовой оптимизационной модели. Однако для извлечения оптимизационной модели из данных цифрового мониторинга ретроспективной информации недостаточно. Требуется генерировать условно-реальные данные путем имитации случайно варьированных объемов деятельности объектов, для которых требуется распределить ресурсное обеспечение для текущего временного периода [6]. Такое варьирование приемлемо интерпретировать как случайное изменение количества заявок на выполнение работ аналогично процессу имитационного моделирования системы массового обслуживания [7].

Поэтому целью статьи является системный анализ функционирования организационной системы с территориально распределенной деятельностной средой и переменным объемом деятельности и управления ею с последующей разработкой процедуры принятия управленческого решения на основе оптимизационно-имитационного моделирования.

Для достижения поставленной цели в работе решены следующие задачи:

- провести системный анализ в форме структурного моделирования процесса управления в исследуемой организационной системе;
- разработать процедуру принятия управленческого решения для многотактового распределения ресурсного обеспечения с использованием оптимизационно-имитационного моделирования.

Материалы и методы

Для характеристики материалов исследования и определения методов будем ориентироваться на результаты системного анализа функционирования организационной системы в форме структурного моделирования. Структурное моделирование направлено на установление взаимосвязей управляющего центра и территориально распределенных объектов деятельности и их количественных характеристик, оценивающих степень связанности [8].

При распределении интегрированного ресурса управляющего центра взаимодействие с объектами определяется следующими характеристиками:

- нумерационное множество объектов в системе $i^0 = \overline{1, I^0}$;
- временные периоды (такты) направления ресурсного обеспечения в деятельностную сферу объектов

$$t = \overline{1, T} \text{ с тактом } \Delta t; \quad (1)$$

- нумерационное множество объектов с плановыми сроками достижения результатов деятельности, соответствующих завершению работ в период $\overline{t, t + \Delta t}$

$$i_t = \overline{1, I_t}, \quad t = \overline{1, T}; \quad (2)$$

- объем интегрального ресурса управляющего центра в период $\overline{t, t + \Delta t}$

$$V(t), \quad t = \overline{1, T}; \quad (3)$$

- потребность i_t -го объекта в ресурсном обеспечении достижения результатов деятельности в плановый срок

$$v_{i_t}^0, \quad i_t = \overline{1, I_t}, \quad t = \overline{1, T}; \quad (4)$$

- интенсивность потока заявок объектов с потребностью в ресурсном обеспечении для достижения результатов деятельности в период $\overline{t, t + \Delta t}$

$$\lambda(t), \quad t = \overline{1, T}; \quad (5)$$

– территория расположения i_t -го объекта

$$\tau_{it}, \quad i_t = \overline{1, I_t}, \quad t = \overline{1, T}; \quad (6)$$

– расстояние территории τ_{it} от расположения управляющего центра

$$r_{it}, \quad i_t = \overline{1, I_t}, \quad t = \overline{1, T}; \quad (7)$$

– стоимость перемещения ресурса от управляющего центра к i_t -му объекту

$$c_{it}, \quad i_t = \overline{1, I_t}, \quad t = \overline{1, T}. \quad (8)$$

Данные (1)–(8) фиксируются с периодичностью Δt в рамках цифрового мониторинга.

Ограниченность объема интегрированного ресурса управляющего центра приводит к тому, что за такт $t, t + \Delta t$ не удается удовлетворить потребность всех объектов, входящих в нумерационное множество $i_t = \overline{1, I_t}$, поскольку

$$\sum_{i_t=1}^{I_t} v_{i_t}^0 > V(t). \quad (9)$$

Учитывая (9) из нумерационного множества $i_t = \overline{1, I_t}$ выбирают подмножество объектов $\hat{i}_t = \overline{1, \hat{I}_t}$, для которого выполняется балансовое условие:

$$\sum_{\hat{i}_t=1}^{\hat{I}_t} v_{\hat{i}_t}^0 \leq V(t). \quad (10)$$

Поэтому остается подмножество $i'_t = \overline{1, I'_t}$ объектов, потребность которых в перемещении ресурса не удовлетворена. Это приводит к тому, что в следующем такте функционирования организационной системы $t + \Delta t, t + 2\Delta t$ требуется распределить ресурсное обеспечение объектам из нумерационного множества $i'_t = \overline{1, I'_t}$ и дополнительно с учетом интенсивности потока заявок λ_t на ресурс $i_{t+1}^\lambda = \overline{1, \hat{I}_{t+1}^\lambda}$. Эти две составляющие определяют нумерационное множество объектов для следующего такта $t + 1$, которое является случайной величиной:

$$\tilde{i}_{t+1} = i'_{t+1} + \tilde{i}_{t+1}^\lambda, \quad t = \overline{1, T - 1}. \quad (11)$$

Схема структурной модели взаимодействия управляющего центра с объектами исследуемой организационной системы представлена на Рисунке 1. В ней учитывается многотактовый процесс изменения количественных характеристик связей при переменном нумерационном множестве объектов деятельности (11).

В соответствии с необходимостью выполнения балансового условия (10) принятие управленческого решения направлено на выбор наиболее приоритетных для получения ресурса объектов, составляющих в каждом такте нумерационное множество $\hat{i}_t = \overline{1, \hat{I}_t}$, редуцированное по отношению к исходному множеству $i_t = \overline{1, I_t}$.

Оптимизационная модель для однотокового распределения получена в [3] и предложен подход к получению на ее основе решения $i_t = \overline{1, I_t}$. Однако многотактное распределение помимо мониторинговых данных включает решение оптимизационной задачи имитационного моделирования для формирования условно-реальных данных (11).

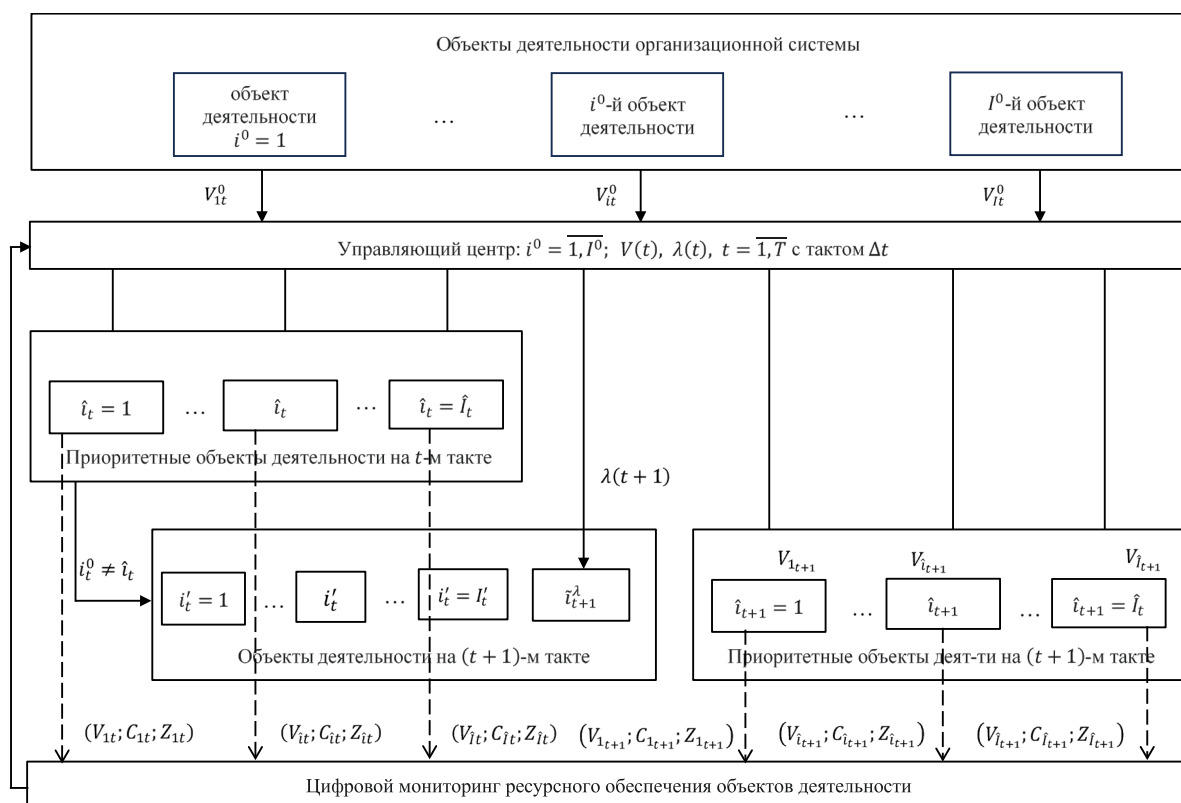


Рисунок 1 – Схема структурной модели взаимодействия управляющего центра с объектами деятельности организационной системы

Figure 1 – Scheme of the structural model of interaction between the control center and the objects of activity of the organizational system

В связи с этим требуется расширить многометодный подход, использованный в [3], при экспертном оценивании и решении задачи многоальтернативной оптимизации с использованием следующих методов:

- генерации последовательности случайных чисел [9];
- интеграции имитационного моделирования и рандомизированного поиска решения задачи оптимизации [10];
- прогностического моделирования интегрального ресурса управляющего центра с использованием машинного обучения на основе временных рядов мониторинговых и условно реальных данных [11].

Результаты и обсуждение

Интеграцию решения задачи оптимизации однократного распределения ресурсного обеспечения, имитационное моделирование нумерационного множества заказов на выполнение работ от новых объектов в следующем такте и прогностическое моделирование на основе ретроспективной мониторинговой информации и сгенерированных данных осуществим в рамках единой процедуры принятия управленческих решений, включающей следующие алгоритмические действия.

1. Фиксация и структурирование ретроспективной мониторинговой информации за временные периоды $t_1 = \overline{1, T_1}$.

2. Подготовка данных для первого такта $t = 1$ многотактного процесса оптимизационно-имитационного моделирования:

- нумерационное множество объектов $i_1 = \overline{1, I_1}$;

б) интенсивность потока заявок объектов λ ;
в) составляющие, влияющие на приоритетность i_1 -го объекта в обеспечении ресурсным обеспечением [3]: экспертные оценки α_i^a , сроки получения результатов деятельности α_i^t , потребности в ресурсном обеспечении α_i^v , расстояние от месторасположения управляющего центра α_i^r , затраты на перемещение ресурса α_i^c .

3. Экспертное моделирование приоритетности обеспечения ресурсным обеспечением деятельности среды объектов нумерационного множества $i = \overline{1, I}$ и определение коэффициентов приоритетности α_i .

4. Введение альтернативных переменных $x_{i_1} = \{1, 0\}$; при $x_{i_1} = 1$ объект i_1 включается в нумерационное множество $\hat{i}_1 = \overline{1, \hat{I}_1}$.

5. Формирование многоальтернативной оптимизационной модели [3]:

$$\begin{aligned} \sum_{i_1=1}^{\hat{I}_1} \hat{\alpha}_i x_i &\rightarrow \max, \\ \sum_{i_1=1}^{\hat{I}_1} v_{i_1}^0 x_i &\leq v(t=1), \\ x_{i_1} &= \begin{cases} 0, & i_1 = \overline{1, \hat{I}_1}. \end{cases} \end{aligned} \quad (12)$$

6. Многометодное решение задачи (12) с последующим экспертным выбором окончательного варианта $x_{i_1}^*$ и установление нумерационных множеств $\hat{i}_1 = \overline{1, \hat{I}_1}$ при $x_{i_1}^* = 1$ и $i_1' = \overline{1, \hat{I}_1}$ при $x_{i_1}^* = 0$.

7. Переход к оптимизационно-имитационному моделированию для тактов $t = \overline{2, T}$.

8. Генерация последовательности псевдослучайных чисел ξ , равномерно распределенных на интервале $[0, 1]$.

9. Определение числа объектов, входящих в нумерационное множество $\hat{i}_{t+1}^\lambda = \overline{1, \hat{I}_{t+1}^\lambda}$, исходя из соотношения:

$$\sum_{i_{t+1}^\lambda=1}^{\hat{I}_{t+1}^\lambda} \left(-\frac{1}{\lambda} \ln \xi_{i_{t+1}^\lambda} \right) = \Delta t.$$

10. Случайный выбор номеров объектов из множества $i^\lambda = \overline{1, T^\lambda}$ за исключением объектов, входящих в множество $\hat{i}_t = \overline{1, \hat{I}_t}$ и $i_t' = \overline{1, \hat{I}_t'}$, которое обозначим $i_{t+1}^\lambda = \overline{1, \hat{I}_{t+1}^\lambda}$.

11. Формирование оптимизационной модели (12) для нумерационного множества объектов $i_{t+1} = \overline{1, \hat{I}_{t+1}} = \left(i_t' = \overline{1, \hat{I}_t'} \right) \cup \left(i_{t+1}^\lambda = \overline{1, \hat{I}_{t+1}^\lambda} \right)$.

12. Решение задачи оптимизации для такта $(t+1)$. Переход к выполнению пунктов 7–12 для следующего такта.

В результате оптимизационно-имитационного моделирования для каждого такта $t = \overline{1, T}$ определяем потребность в интегральном ресурсе:

$$V^0(t) = \sum_{i_t=1}^{\hat{I}_t} v_{i_t}^0, \quad t = \overline{1, T}. \quad (13)$$

Временной ряд (13) объединим с временным рядом ретроспективной мониторинговой информации $V(t_1)$, $t_1 = \overline{1, T_1}$. Число тактов имитационного моделирования выбирается таким образом, чтобы объединенная обучающая выборка

$$V^u(t), \quad t = \overline{1, (T_1 + T)} \quad (14)$$

была репрезентативной.

Обучающая выборка (14) используется для машинного обучения регрессионной либо нейросетевой модели, позволяющей прогнозировать потребность в интегральном ресурсе во временные периоды $t > T_1$ с горизонтом планирования T^{nn} :

$$V^m(t) = f^m(t), \quad t = T_1 + 1, \dots, T_1 + T^{nn}. \quad (15)$$

Кроме моделирования прогнозных оценок интегрального ресурсного обеспечения в рамках горизонта планирования при сохранении состава объектов $i^0 = \overline{1, I^0}$ управляющий центр анализирует возможности расширения деятельности в новых территориях τ_i . В этом случае переменный объем деятельности характеризуется в рамках изменения состава объектов за счет дополнительных объектов, характеризующихся нумерационным множеством $i^g = \overline{1, I^g}$.

Поскольку для этого множества отсутствует ретроспективная мониторинговая информация, репрезентативная обучающая выборка формируется с использованием условно реальных данных, полученных при проведении оптимизационно-имитационного моделирования на нумерационном множестве $i^p = \overline{1, I^p}$, где $1, I^p = (1, I^0) \cup (1, I^g)$.

На основе машинного обучения получаем модель, аналогичную (15), которую следует использовать как прогностическую характеристику ресурсного обеспечения при территориальном развитии организационной системы с заданным горизонтом планирования T^{nn} :

$$V^p(t) = \varphi^p(t), \quad t = T_1 + 1, \dots, T_1 + T^{nn}. \quad (16)$$

С использованием модельных зависимостей управляющий центр принимает ряд управленческих решений:

- планирует объем интегрального ресурсного обеспечения на основе (15) в рамках горизонта планирования при сохранении состава объектов территориально распределенной организационной системы;
- планирует ресурсное обеспечение развития организационной системы на основе (16) при расширении деятельности среды на новые территории с включением в нумерационное множество объектов дополнительных элементов.

Заключение

Структурную модель функционирования организационной системы с территориально распределенными результатами деятельности следует рассматривать как результат предварительного системного анализа для перехода к оптимизационно-имитационному моделированию многотактного распределения интегрального ресурсного обеспечения с учетом установленных при структуризации количественных оценок связей управляющего центра и объектов деятельности.

Многотактная оптимизационно-имитационная модель основана на формировании и решении для каждого такта задачи оптимизации выбора приоритетного множества объектов из нумерационного множества объектов, оставшихся без ресурсного обеспечения на предыдущем такте, и случайного набора объектов. Последняя составляющая определяется за счет генерации случайного потока заявок на получение ресурса от управляющего центра.

Ретроспективные данные цифрового мониторинга дополняются до репрезентативной обучающей выборки за счет условно реальных данных, полученных по результатам оптимизационно-имитационного моделирования, что позволяет реализовать машинное обучение прогностических моделей ресурсного обеспечения на стадиях функционирования и развития исследуемой организационной системы и

осуществить прогноз интегрального ресурса в рамках заданного горизонта планирования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Новиков Д.А. *Теория управления организационными системами*. Москва: ЛЕНАНД; 2022. 500 с.
2. Львович Я.Е., Львович И.Я., Чопоров О.Н. и др. *Оптимизация цифрового управления в организационных системах*. Воронеж: Научная книга; 2021. 191 с.
3. Иваровский П.Н. *Анализ деятельности строительно-монтажных организаций*. Брест: БрГТУ; 2004. 195 с.
4. Матвеева Е.А., Новаковская Т.С. Моделирование организации деятельности строительно-монтажного предприятия. *Вестник Волжского университета им. В.Н. Татищева*. 2013;(4):35–40.
Matveeva E.A., Novakovskaya T.S. Modelling of the organization of activity of the construction enterprise. *Bulletin of the V.N. Tatishchev Volga State University*. 2013;(4):35–40. (In Russ.).
5. Корчагин С.Г., Рындин А.А., Рындин Н.А. *Управление в организационных системах на основе цифровых технологий*. Воронеж: Научная книга; 2025. 248 с.
6. Донской В.И. Извлечение оптимизационных моделей из данных: применение нейронных сетей. *Таврический вестник информатики и математики*. 2018;(2):71–89.
Donskoy V.I. Extraction of optimization models from data: an application of neural networks. *Tauride Bulletin of Computer Science and Mathematics*. 2018;(2):71–89. (In Russ.).
7. Снапелев Ю.М., Старосельский В.А. *Моделирование и управление в сложных системах*. Москва: Советское радио; 1974. 264 с.
8. Новосельцев В.И. *Системный анализ: современные концепции*. Воронеж: Кварта; 2003. 360 с.
9. Соболев И.М. *Численные методы Монте-Карло*. Москва: Наука; 1973. 312 с.
10. Львович Я.Е. *Многоальтернативная оптимизация: теория и приложения*. Воронеж: Кварта; 2006. 415 с.
11. Крючин О.В., Козадаев А.С., Дудаков В.П. Прогнозирование временных рядов с помощью искусственных нейронных сетей и регрессионных моделей на примере прогнозирования котировок валютных пар. *Исследовано в России*. 2010;(30):354–362.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Боклашов Юрий Юрьевич, аспирант, Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Российская Федерация.
e-mail: boklashov@gmail.com
ORCID: [0009-0006-2572-0882](https://orcid.org/0009-0006-2572-0882)

Iurii I. Boklashov, Postgraduate, Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, the Russian Federation.

Иванов Денис Вячеславович, кандидат технических наук, доцент, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Российская Федерация.
e-mail: ivanov.sapris@mail.ru
ORCID: [0009-0000-6690-8335](https://orcid.org/0009-0000-6690-8335)

Denis V. Ivanov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Voronezh State Technical University, Voronezh, the Russian Federation.

Львович Яков Евсеевич, доктор технических наук, профессор, Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Российская Федерация.

e-mail: office@vvt.ru

ORCID: [0000-0002-7051-3763](https://orcid.org/0000-0002-7051-3763)

Yakov E. Lvovich, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, the Russian Federation.

Статья поступила в редакцию 20.01.2026; одобрена после рецензирования 08.04.2026; принята к публикации 17.04.2026.

The article was submitted 20.01.2026; approved after reviewing 08.04.2026; accepted for publication 17.04.2026.