

УДК 681.3

DOI: [10.26102/2310-6018/2025.51.4.065](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2025.51.4.065)

Оптимизация управления персонализированным распределением ресурсного обеспечения в территориальной организационной системе

А.Д. Максин, А.П. Преображенский✉

Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Российской Федерации

Резюме. В статье исследуется эффективность применения оптимизационного подхода при управлении персонализированным распределением ресурсного обеспечения в территориально распределенной организационной системе. Охарактеризованы особенности многоуровневого ресурсораспределительного процесса по нисходящей схеме: управляющий центр – территориальные образования – направления поддержки персонализированного субъекта – субъекты ресурсообеспечения и восходящей с коррекцией полученных результатов в зависимости от удовлетворения потребности в ресурсе. Установлены количественные характеристики межуровневого взаимодействия. Сформированы оптимизационные модели детализации централизованного ресурсного обеспечения. Обосновано, что оптимизационная модель распределения ресурса управляющего центра между территориальными образованиями требуется в случае, когда потребности регионов невозможны удовлетворить в полном объеме. При недостаточности централизованного ресурса потребности в объемах ресурсного обеспечения территорий уменьшаются с использованием коэффициентов, оценивающих потенциальные возможности регионов в достижении ряда показателей. В условиях, когда ресурс выделяется ограниченно числу территорий, эти коэффициенты учитываются в редукционной модели многоальтернативной оптимизации таким образом, чтобы суммарный объем детализированных ресурсов не превышал централизованный ресурс. В случае распределения ресурсного обеспечения внутри территориального образования особенности оптимизационного моделирования проявляются в группировании субъектов ресурсообеспечения в зависимости от удовлетворения их потребностей, разнонаправленности ограничений, связанных с выполнением требований управляющего центра по результативности персонализированной поддержки и балансовых условий. Указанные особенности в формализованной постановке учитываются в рамках оптимизационной модели блочного линейного программирования. Предложена алгоритмическая схема декомпозиции блочной задачи на две связанные задачи компонического линейного программирования и итерационной процедуры симплексного метода одновременного решения прямой и двойственной задач. В итерационный цикл включена схема группирования и изменения структуры целевой функции.

Ключевые слова: организационная система, управление ресурсным обеспечением, персонализированное распределение ресурса, приоритетная многоальтернативная оптимизация, блочное линейное программирование, экспертное оценивание.

Для цитирования: Максин А.Д., Преображенский А.П. Оптимизация управления персонализированным распределением ресурсного обеспечения в территориальной организационной системе. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2025;13(4). URL: <https://moitvivt.ru/ru/journal/pdf?id=2153> DOI: 10.26102/2310-6018/2025.51.4.065

Optimization of management of personalized resource allocation in the territorial organizational system

A.D. Maksin, A.P. Preobrazhenskiy✉

Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, the Russian Federation

Abstract. This article examines the effectiveness of applying an optimization approach to managing personalized resource allocation in a geographically distributed organizational system. The paper characterizes the features of a multi-level resource allocation process based on a top-down approach: management center – territorial entities – support areas for a personalized entity – resource supply entities, and an bottom-up approach with adjustments to the obtained results depending on resource demand satisfaction. Quantitative characteristics of inter-level interactions are established. Optimization models for detailing centralized resource allocation are developed. It is substantiated that an optimization model for resource allocation from the management center among territorial entities is required when the needs of the regions cannot be fully met. When centralized resources are insufficient, resource requirements for territories are reduced using coefficients that assess the regions' potential for achieving a number of indicators. When resources are allocated to a limited number of territories, these coefficients are taken into account in a reduction model of multi-alternative optimization such that the total volume of detailed resources does not exceed the centralized resource. When resource provision is distributed within a territorial entity, the specifics of optimization modeling manifest themselves in the grouping of resource supply entities based on the satisfaction of their needs, the multidirectional constraints associated with meeting the control center's requirements for the effectiveness of personalized support, and balance sheet conditions. These specifics, in a formalized formulation, are taken into account within the framework of a block linear programming optimization model. An algorithmic scheme for decomposing a block problem into two related problems of compositional linear programming and an iterative procedure of the simplex method for simultaneously solving the direct and dual problems is proposed. The iterative cycle includes a scheme for grouping and modifying the structure of the objective function.

Keywords: organizational system, resource management, personalized resource allocation, priority multi-alternative optimization, block linear programming, expert assessment.

For citation: Maksin A.D., Preobrazhenskiy A.P. Optimization of management of personalized resource allocation in the territorial organizational system. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2025;13(4). (In Russ.). URL: <https://moitvivt.ru/ru/journal/pdf?id=2153> DOI: 10.26102/2310-6018/2025.51.4.065

Введение

Большие организационные системы характеризуются объединением региональных компонентов, состояние которых влияет на принятие управленческих решений в рамках ресурсораспределительного процесса. В этом случае процесс управления исследуется с учетом территориальной распределенности организационной системы [1]. Вариативность управленческих действий приводит к разнообразию принимаемых решений, что создает предпосылки для оптимального выбора на основе формализованного описания экстремальных и граничных требований оптимизационной задачи. Инвариантные задачи и методы оптимального распределения ресурсов [2] детализированы в условиях цифрового управления [3], связанного с усилением процесса цифровой трансформации [4] при переходе к цифровизированным организационным системам [5].

Однако, как показано в [6], выбор конкретных цифровых технологий управления определяется особенностями исследуемой организационной системы. Главной особенностью терitoriально распределенной системы с распределением ресурса персонализированным субъектам является двойственность в последовательности детализации ресурсного обеспечения в многоуровневой системе. С одной стороны требуется распределить ресурс по нисходящей схеме: управляющий центр – территориальные образования – направления поддержки персонализированных субъектов – субъекты ресурсообеспечения, а с другой – по восходящей схеме: потребности субъекта – направление поддержки субъекта – территориальное образование – управляющий центр. Обеспечение сбалансированности результатов

нисходящего и восходящего ресурсораспределительного процесса составляет суть многоуровневого оптимизационного моделирования при принятии управленческих решений в исследуемой организационной системе.

Управление персонализированным ресурсным обеспечением характерно для целого ряда систем:

- адресного лекарственного обеспечения;
- создания персональных условий в спорте высших достижений;
- поддержки одаренных детей в образовательной системе;
- индивидуальной грантовой поддержки научной и предпринимательской деятельности.

Среди перечисленных направлений большое внимание уделяется необходимости оптимизационного подхода для преодоления проблем в распределении ресурсных средств для лекарственного обеспечения пациентов, страдающих редкими (орфанными) заболеваниями [7], с учетом полномочий органов управления территориальных образований [8].

С учетом многоуровневости управления ресурсораспределительным процессом исследуемой организационной системы и необходимости сбалансированности результатов при реализации нисходящей и восходящей схем принятия решений, целью статьи является разработка проблемно ориентированных моделей и алгоритмических процедур многоуровневого оптимизационного моделирования.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- обосновать последовательность и типы задач оптимизации при формировании структуры многоуровневого оптимизационного моделирования;
- разработать алгоритмическую процедуру оптимальной балансировки результатов нисходящего и восходящего моделирования.

Материалы и методы

В качестве материалов исследований охарактеризуем количественные оценки связей уровней персонализированного ресурсного обеспечения в территориально распределенной организационной системе.

Главной характеристикой управляющего центра, как верхнего уровня управления, является заданный объем централизованного ресурса V . Этот объем определяется программами развития либо в процессе бюджетирования. Уровень территориальных образований представляется следующими данными:

$i = \overline{1, I}$ – нумерационное множество территориальных образований;

$\hat{V}_i, i = \overline{1, I}$ – потребность i -го территориального образования для персонализированного ресурсного обеспечения;

F_{il} – l -й показатель i -го территориального образования, характеризующий его потенциальные возможности в персонализированном ресурсном обеспечении;

$l = \overline{1, L}$ – нумерационное множество показателей.

Уровень F_{il} является определяющим для выделения i -й территории ресурсного обеспечения $V_i, i = \overline{1, I}$ из централизованного ресурса V . Связанность этих уровней зависит от механизма распределения V для каждого территориального образования $V_i, i = \overline{1, I}$.

Если выполняется условие:

$$\sum_{i=1}^l \hat{V}_i \leq V, \quad (1)$$

то $V_i = \hat{V}_i, i = \overline{1, I}$; в противном случае распределение осуществляется [3] либо пропорционально \hat{V}_i с учетом линейных коэффициентов приоритетности $\alpha_i, i = \overline{1, I}$,

характеризующих, по мнению экспертов, потенциальные возможности территорий по $l = \overline{1, L}$ показателям; либо обеспечения части регионов $\hat{i} = \overline{1, \hat{I}}$ в соответствии с потребностью. В последнем случае это означает выбор, формализуемый альтернативными переменными:

$$x_i = \begin{cases} 1, & \text{если в } i\text{-е территориальное образование управляющий центр} \\ & \text{направляет ресурсное обеспечение,} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (2)$$

Количественно связанность двух уровней определяется требованием максимизации уровня потенциальных возможностей территорий $\hat{i} = \overline{1, \hat{I}}$:

$$\sum_{i=1}^I \alpha_i x_i \rightarrow \max \quad (3)$$

и выполнением балансового условия (1) с учетом (2):

$$\sum_{i=1}^I \hat{V}_i x_i \leq V. \quad (4)$$

В [3] также приведены инвариантные алгоритмические процедуры получения детализированных ресурсов V_i , $i = \overline{1, I}$. Особенности исследуемого класса систем учитываются при количественном экспертном оценивании коэффициентов α_i , $i = \overline{1, I}$ [9].

Взаимодействие со следующими уровнями является наиболее значимым в обеспечении сбалансированности результатов нисходящего и восходящего процесса распределения ресурсного обеспечения. Нисходящая схема между управляющим центром и территориальными образованиями позволяет, как показано выше, определить детализацию ресурса V на объемы V_i , $i = \overline{1, I}$. Дальнейшее распределение зависит от следующих количественных характеристик нижних уровней:

- уровень направления поддержки персонализированных субъектов в каждой территории: $n = \overline{1, N}$ – нумерационное множество направлений; \hat{V}_{in} , $i = \overline{1, I}$, $n = \overline{1, N}$ – суммарная потребность в ресурсном обеспечении i -й территории по n -му направлению;

- уровень персонализированных субъектов: $m_n = \overline{1, M_n}$ – нумерационное множество персонализированных субъектов; \hat{V}_{imn} – потребность персонализированного субъекта в ресурсном обеспечении.

Связанности всех уровней определяются результатом ресурсораспределительного процесса \hat{V}_{imn} , $i = \overline{1, I}$, $m_n = \overline{1, M_n}$, $n = \overline{1, N}$ следующими оценками:

- отклонением V_{imn} от потребностей $\hat{V}_{imn} - \Psi(V_{imn})$;
- влиянием на достижение требований результативности использования ресурса персонализированным субъектом f_j , $j = \overline{1, J}$, установленных управляющим центром, исходя из целей программ развития или возможностей бюджетной составляющей;
- выполнением балансового условия

$$\sum_{n=1}^N \sum_{m_n}^{M_n} V_{imn} \leq V_i, i = \overline{1, I}. \quad (5)$$

В случае представления всех этих оценок линейными зависимостями от объемов ресурсного обеспечения получаем экстремальное требование минимизации отклонений при разнонаправленности двух блоков граничных требований: достигаемая результативность должна быть не меньше f_j^0 , $j = \overline{1, J}$; суммарный объем не больше V_i , $i = \overline{1, I}$.

Указанный набор требований при формировании оптимизационной модели определяет в качестве основного метода исследования – метод постановки и решения

задачи блочного линейного программирования с учетом общих свойств прямой и двойственной задач линейного программирования в канонической форме [10].

Результаты и обсуждения

Приведенные в предыдущем разделе материалы исследования позволяют в рамках достижения решения первой задачи установить следующую последовательность процесса многоуровневого оптимизационного моделирования:

- оптимальный выбор управляемого решения по распределению централизованного ресурса V между территориальными образованиями $V_i, i = \overline{1, I}$;
- оптимизация управления ресурсораспределительным процессом на территориальном уровне путем детализации объемов $V_i, i = \overline{1, I}$ по направлениям поддержки $V_{in}, i = \overline{1, I}, n = \overline{1, N}$ и персонализированным субъектам $V_{imn}, i = \overline{1, I}, m_n = \overline{1, M_n}, n = \overline{1, N}$.

Взаимодействие уровней управляющего центра и территориальных образований достигается за счет решения задачи приоритетной многоальтернативной оптимизации, а на уровне территории – блочного линейного программирования.

Приведенная последовательность характеризует схему восходящего распределения ресурсного обеспечения. В рамках схемы восходящего распределения экспертами осуществляется коррекция результатов ресурсораспределительного процесса с учетом потребностей персонализированного субъекта по следующим условиям перехода между уровнями:

$$1) V_{imn} \geq \hat{V}_{imn}, i = \overline{1, I}, m_n = \overline{1, M_n}, n = \overline{1, N}, \quad (6)$$

$$2) \sum_{m_n}^{M_n} V_{imn} \geq \hat{V}_{imn}, i = \overline{1, I}, n = \overline{1, N}, \quad (7)$$

$$3) \sum_n^N \sum_{m_n}^{M_n} V_{imn} \geq \hat{V}_i, i = \overline{1, I}. \quad (8)$$

Выполнение условия (6) свяжем с разделением нумерационного множества $m_n = \overline{1, M_n}$ на три группы:

$$\begin{aligned} m'_n &= \overline{1, M'_n} \text{ при } V_{im'n} = \hat{V}_{im'n}, \\ m''_n &= \overline{1, M''_n} \text{ при } V_{im''n} = \hat{V}_{im''n}, \\ m'''_n &= \overline{1, M'''_n} \text{ при } V_{im'''n} = \hat{V}_{im'''n}, \end{aligned} \quad (9)$$

при этом $\overline{1, M'_n} \cup \overline{1, M''_n} \cup \overline{1, M'''_n} = \overline{1, M_n}$.

Выполнение (7), (8) будем учитывать при формировании балансовых условий в оптимизационных моделях.

Приведенные выше результаты позволяют перейти ко второй задаче в рамках постановки и решения задачи блочного линейного программирования. В этой задаче в качестве оптимизируемых переменных рассматриваются значения объемов ресурсного обеспечения $V_{imn}, i = \overline{1, I}, m_n = \overline{1, M_n}, n = \overline{1, N}$.

Сформируем зависимости экстремального и граничных требований от этих переменных.

Как указывалось, экстремальное требование состоит в минимизации отклонений V_{imn} от $\hat{V}_{imn}, i = \overline{1, I}, m_n = \overline{1, M_n}, n = \overline{1, N}$, что обеспечивает выполнение условия (6).

С учетом группирования нумерационного множества $m_n = \overline{1, M_n}$ (9) получаем следующую зависимость для каждой i -й территории:

$$\Psi_i(V_{imn}) = \sum_{n=1}^N \left[\sum_{m'_n}^{M'_n} (\hat{V}_{im'''n} - V_{im'''n}) + \sum_{m'''_n}^{M'''_n} (V_{im'''n} - \hat{V}_{im'''n}) \right], i = \overline{1, I}. \quad (10)$$

Границное условие, связанное с выполнением требований управляющего центра к показателям результативности использования ресурса персонализированным субъектом, определим следующей линейной зависимостью (модель чувствительности):

$$f_i(V_{imn}) = \sum_{n=1}^N \sum_{m_n=1}^{M_n} b_{mnj} V_{imn}, V_{imn}, i = \overline{1, I}, j = \overline{1, J}, \quad (11)$$

где b_{mnj} – коэффициенты влияния объема ресурсного обеспечения на значение показателя результативности, установленных либо экспертным путем [9], либо путем машинного обучения на основе ретроспективных данных [6].

Второе граничное условие является балансовым и определяется зависимостью (5).

Объединяя (10), (11), (5) и устанавливая требование неотрицательности оптимизируемых переменных, получаем следующую оптимизационную модель для каждого i -го территориального образования:

$$\begin{aligned} \sum_{n=1}^N \left[\sum_{m_n''=1}^{M_n''} (\hat{V}_{im''n} - V_{im''n}) + \sum_{m_n'''=1}^{M_n'''} (V_{im'''n} - \hat{V}_{im'''n}) \right] &\rightarrow \min_{V_{imn}}, \\ \sum_{n=1}^N \sum_{m_n=1}^{M_n} b_{mnj} V_{imn} &\geq f_j^0, j = \overline{1, J}, \\ \sum_{n=1}^N \sum_{m_n=1}^{M_n} V_{imn} &\leq V_i, \\ V_{imn} &\geq 0, m_n = \overline{1, M_n}, n = \overline{1, N}. \end{aligned} \quad (12)$$

Задача оптимизации (12) является задачей блочного линейного программирования, поскольку содержит два блока разнонаправленных ограничений. Для построения алгоритма решения (12) целесообразно [10] осуществить ее декомпозицию на две задачи линейного программирования с односторонними ограничениями. Первая соответствует исходной целевой функции и ограничению по результативности.

$$\begin{aligned} \sum_{n=1}^N \left[\sum_{m_n''=1}^{M_n''} (\hat{V}_{im''n} - V_{im''n}) + \sum_{m_n'''=1}^{M_n'''} (\hat{V}_{im'''n} - V_{im'''n}) \right] &\rightarrow \min_{V_{imn}}, \\ \sum_{n=1}^N \sum_{m_n=1}^{M_n} b_{mnj} V_{imn} &\geq f_j^0, j = \overline{1, J}, \\ V_{imn} &\geq 0, m_n = \overline{1, M_n}, n = \overline{1, N}. \end{aligned} \quad (13)$$

Особенностью (13) является то, что она относится к классу задач параметрического линейного программирования, поскольку значение целевой функции зависит не только от величины оптимизируемых переменных, но и от состава нумерационных множеств $m_n'' = \overline{1, M_n''}$ и $m_n''' = \overline{1, M_n'''}$. Особый вид параметрической зависимости не позволяет использовать подход [11] для дифференцируемой зависимости от непрерывного параметра и требует дополнительных преобразований на каждой итерации решения задачи линейного программирования (13).

Вторая задача ориентирована на блок ограничений, связанных с балансовым условием. Целевая функция в этом случае формируется на основе решения двойственной к (13) задачи [10] на k -й итерации ($k = 1, 2, \dots, K$) $\lambda_j^k \geq 0$. Чем больше значение λ_j^k , тем менее критично j -е ограничение при минимизации целевой функции. Поэтому оптимизационная модель для второго блока имеет вид:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^J \lambda_j^k (f_j^0 - \sum_{n=1}^N \sum_{m_n=1}^{M_n} b_{mnj} V_{imn}^k) &\rightarrow \max, \\ \sum_{n=1}^N \sum_{m_n=1}^{M_n} V_{imn}^k &\leq V_i, \\ V_{imn}^k &\geq 0, m_n = \overline{1, M_n}, n = \overline{1, N}. \end{aligned} \quad (14)$$

Поблочное согласование опорных планов, формируемых на k -й итерации симплексного метода одновременного решения прямой и двойственной задач, осуществляется с использованием метода Данцига-Вульфа [10]. В схему этого метода на каждой итерации включается группирование (9) и изменение структуры целевой функции (10). Останов итерационного процесса осуществляется по правилу гарантированного большинства [9], когда число элементов нумерационного множества $m'_n = \overline{1, M'_n}$ составляет $M' = 0,9M_n$, $n = \overline{1, N}$. В этом случае по группе $m''_n = \overline{1, M''_n}$, $n = \overline{1, N}$ осуществляется цикл коррекции по восходящей схеме. После этого принимается окончательное управляемое решение по распределению персонализированного ресурса каждой i -й территории.

Заключение

Главными особенностями, влияющими на применение оптимизационного подхода, являются многоуровневый характер ресурсораспределительного процесса и требование сбалансированности результатов нисходящей и восходящей схем персонализированного распределения ресурсного обеспечения в территориально распределенной организационной системе.

Количественные характеристики связей при межуровневом взаимодействии влияют на виды оптимизационного моделирования при распределении централизованного ресурса управляющего центра между территориальными образованиями и последующей детализации внутри территории.

С целью эффективного использования ограниченного централизованного ресурса целесообразно выделять ресурсное обеспечение территориальным образованием с учетом их потенциальных возможностей по поддержке персонализированных субъектов. Экспертное оценивание коэффициентов приоритетности создает предпосылки для реализации как схем пропорционального, так и редукционного распределения на основе модели многоальтернативной оптимизации.

При оптимальном распределении объемов ресурсного обеспечения внутри территориального образования возникает влияние на экстремальное требование группирования персонализированных субъектов по степени удовлетворения их потребностей и разнонаправленность граничных требований, что приводит к задаче блочного линейного программирования с параметрической зависимостью целевой функции.

Для получения решения задачи блочного линейного программирования с последующим выбором окончательного управляемого решения по предоставлению ресурса персонализированному субъекту приемлемо объединить в алгоритмической процедуре декомпозицию исходной задачи оптимизации на блоки канонических задач линейного программирования, симплексный метод одновременного решений прямой и двойственной задач, изменения расчета целевой функции в зависимости от группирования персонализированных субъектов на основе опорного плана, полученного после каждой итерации.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Новиков Д.А. *Теория управления организационными системами*. Москва: ЛЕНАНД; 2022. 500 с.
2. Гурин Л.С., Дымарский Я.С., Меркулов А.Д. *Задачи и методы оптимального распределения ресурсов*. Москва: Сов. радио; 1968. 463 с.
3. Львович Я.Е., Львович И.Я., Чопоров О.Н. и др. *Оптимизация цифрового управления в организационных системах*. Воронеж: Научная книга; 2021. 191 с.

4. Вайл П., Ворнер С. *Цифровая трансформация бизнеса: Изменение бизнес-модели для организации нового поколения*. Москва: Альпина Паблишер; 2019. 257 с.
Weill P., Woerner S. *What's Your Digital Business Model?: Six Questions to Help You Build the Next-Generation Enterprise*. Moscow: Alpina Publisher; 2019. 257 p. (In Russ.).
5. Рындин Н.А., Скворцов Ю.С., Тишуков Б.Н. *Цифровизация управления в организационных системах агропромышленных предприятий*. Воронеж: Научная книга; 2022. 148 с.
6. Корчагин С.Г., Рындин А.А., Рындин Н.А. *Управление в организационных системах на основе цифровых технологий*. Воронеж: Научная книга; 2025. 248 с.
7. Александрова О.Ю., Соколов А.А., Комаров И.А. Проблемы лекарственного обеспечения пациентов, страдающих редкими заболеваниями, при использовании средств системы обязательного медицинского страхования. *Проблемы стандартизации в здравоохранении*. 2019;(7-8):28–43. <http://doi.org/10.26347/1607-2502201907-08028-043>
Aleksandrova O.Yu., Sokolov A.A., Komarov I.A. Problems of Drug Provision for Patients with Orphan Diseases Based on Budget of Obligatory Medical Insurance System. *Problemy standartizatsii v zdravookhranenii*. 2019;(7-8):28–43. (In Russ.). <http://doi.org/10.26347/1607-2502201907-08028-043>
8. Александрова О.Ю., Бурцева М.Н., Нагибин О.А. Полномочия органов исполнительной власти субъектов РФ по обеспечению лекарственными препаратами больных орфанными заболеваниями – варианты решения проблемы. *Проблемы стандартизации в здравоохранении*. 2016;(3-4):15–20.
Aleksandrova O.Yu., Burtseva M.N., Nagibin O.A. Powers of Authorities of Subjects of the Russian Federation on Drug Supply Patients with Orphan Diseases – Solution of the Problem. *Problemy standartizatsii v zdravookhranenii*. 2016;(3-4):15–20. (In Russ.).
9. Львович И.Я. *Принятие решений на основе оптимизационных моделей и экспертной информации*. Воронеж: Научная книга; 2023. 231 с.
10. Юдин Д.Б., Юдин А.Д. *Экстремальные модели в экономике*. Москва: Экономика; 1979. 288 с.
11. Аветисян А.Г., Гюльзадян Л.С. Метод решения задач параметрического линейного программирования, основанный на дифференциальных преобразованиях. *Известия Томского политехнического университета*. 2014;324(2):25–30.
Avetisyan A.G., Gyulzadyan L.S. Method for Solving Parametric Linear Programming Problems Based on Differential Transforms. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*. 2014;324(2):25–30. (In Russ.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Максин Артем Дмитриевич, аспирант, Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, the Russian Federation.

e-mail: mak95@mail.ru

Преображенский Андрей Петрович, доктор технических наук, профессор, Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, the Russian Federation.

e-mail: app@vivt.ru

ORCID: [0000-0002-6911-8053](https://orcid.org/0000-0002-6911-8053)

Andrey P. Preobrazhenskiy, Doctor of Engineering Sciences, Full Professor, Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, the Russian Federation.

*Статья поступила в редакцию 01.12.2025; одобрена после рецензирования 22.12.2025;
принята к публикации 26.12.2025.*

*The article was submitted 11.12.2025; approved after reviewing 24.12.2025;
accepted for publication 26.12.2025.*