

УДК 681.3

DOI: [10.26102/2310-6018/2026.56.5.017](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2026.56.5.017)

Многоуровневое оптимизационное моделирование при индивидуально-ориентированном управлении ресурсами сложной системы

Е.Я.Гафанович¹, А.Д. Максин², А.П. Преображенский²✉

¹*Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского, Саратов, Российская Федерация*

²*Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Российская Федерация*

Резюме. В статье приводятся исследования, направленные на трансформацию инвариантных средств многоуровневого оптимизационного моделирования при управлении территориально распределенной организационной системой с персонализированными субъектами применительно к распределению ресурсов лекарственного обеспечения и медицинской помощи пациентам, страдающим редкими заболеваниями. Показано, что управление ресурсораспределительным процессом требует синхронизации в рамках единого маршрута выделения и использования средств федерального и региональных бюджетов на основе существующей нормативно-правовой базы. С целью перехода к трансформации инвариантных оптимизационных моделей предварительно обоснованы особенности функционирования и управления в персонализированной организационной системе фармацевтической и медицинской помощи пациентам, страдающим редкими заболеваниями. В качестве основных особенностей определены: многоуровневый характер распределения централизованного ресурса; наличие информационных ресурсов в форме регистров, реестров, базы заявок; мониторинг индикаторов результативности и ежемесячных отчетов регионов; автоматизация интеграционной модели управления с использованием цифровых информационных ресурсов и ГИС-ориентированных технологий. С учетом особенностей исследуемой организационной системы внесены изменения при формировании проблемно ориентированного процесса многоуровневого оптимизационного моделирования: в описании множеств, определяющих межуровневое взаимодействие органов управления и пациентов; в виде дополнений и изменений в формализованное описание задач оптимизации и процедур принятия управленческих решений; с объединением интеграционной модели управления распределением централизованного ресурса административных решений и средств их интеллектуальной поддержки на основе оптимизационного подхода.

Ключевые слова: организационная система, управление, ресурсораспределительный процесс, оптимизация, пациенты с редкими заболеваниями, лекарственное обеспечение, медицинская помощь.

Для цитирования: Гафанович Е.Я., Максин А.Д., Преображенский А.П. Многоуровневое оптимизационное моделирование при индивидуально-ориентированном управлении ресурсами сложной системы. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии.* 2026;14(5). URL: <https://moitvivr.ru/ru/journal/article?id=2311> DOI: 10.26102/2310-6018/2026.56.5.017

Multilevel optimization modeling for individually oriented resource management of a complex system

E.Ya. Gafanovich¹, A.D. Maksin², A.P. Preobrazhenskiy²✉

¹*Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky, Saratov, the Russian Federation*

²*Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, the Russian Federation*

Abstract. The article presents studies aimed at transforming invariant means of multi-level optimization modeling in the management of a geographically distributed organizational system with personalized subjects in relation to the distribution of resources for drug provision and medical care for patients suffering from rare diseases. It is shown that the management of the resource distribution process requires synchronization within a single route for the allocation and use of funds from the federal and regional budgets on the basis of the existing regulatory framework. In order to move to the transformation of invariant optimization models, the features of functioning and management in the personalized organizational system of pharmaceutical and medical care for patients suffering from rare diseases are preliminarily substantiated. The main features are: a multi-level nature of the distribution of a centralized resource; availability of information resources in the form of registers, registers, database of applications; monitoring of performance indicators and monthly reports of the regions; automation of the integration model of management using digital information resources and GIS-oriented technologies. Taking into account the features of the organizational system under study, changes were made in the formation of a problem-oriented process of multi-level optimization modeling: in the description of sets that determine the inter-level interaction of management bodies and patients; in the form of additions and changes to the formalized description of optimization tasks and procedures for making management decisions; with the unification of an integration model for managing the distribution of a centralized resource of administrative decisions and means of their intelligent support based on an optimization approach.

Keywords: organizational system, management, resource allocation process, optimization, patients with rare diseases, drug provision, medical care.

For citation: Gafanovich E.Ya., Maksin A.D., Preobrazhenskiy A.P. Multilevel optimization modeling for individually oriented resource management of a complex system. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2026;14(5). (In Russ.). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/article?id=2311> DOI: 10.26102/2310-6018/2026.56.5.017

Введение

Классификация организационных систем по целому ряду признаков осуществляется в том числе в зависимости от структуры ресурсораспределительного процесса [1]. Указанный признак определяет особенности функционирования территориально распределенных организационных систем с персонализированными субъектами [2]. Одной из практических реализаций таких систем является лекарственное обеспечение и медицинская помощь пациентам, страдающим редкими заболеваниями (орфанными заболеваниями) [3]. При этом лекарственное обеспечение сопряжено с определенными принципами персонализированной медицины [4].

Повышение эффективности персонализированного лекарственного обеспечения базируется на методике оптимизации распределения ресурсного обеспечения, необходимого для реализации фармацевтической и медицинской помощи [5]. Управление ресурсораспределительным процессом требует синхронизации в рамках единого маршрута выделения средств из федерального и регионального бюджетов, действий органов административного управления с учетом возможностей фармацевтических и медицинских организаций по обеспечению потребностей пациентов, страдающих редкими заболеваниями [6]. Алгоритм выполнения данного маршрута опирается на существующую нормативно-правовую базу [7] и включает в себя определение полномочий органов многоуровневого управления в формировании:

- перечня орфанных заболеваний, требующих бюджетного финансирования высокочатратных нозологий;
- регистров лиц, страдающих редкими заболеваниями;
- заявок, определяющих потребность в фармацевтической и медицинской помощи;

- критериев для участия регионов в удовлетворении потребности за счет средств федерального бюджета;
- индикаторов для мониторинга результативности персонализированного ресурсообеспечения.

Учитывая дефицит бюджетных средств на функционирование исследуемой организационной системы, требуется построение системы управления, базирующейся на оптимизационном подходе и цифровых технологиях [8] с учетом особенностей персонализированного ресурсораспределительного процесса.

Поэтому целью настоящей работы является оптимизация процесса многоуровневого принятия управленческих решений с использованием цифровых технологий при распределении ресурсов лекарственного обеспечения пациентов, страдающих редкими заболеваниями.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- осуществить характеристику особенностей функционирования исследуемой организационной системы и управления ею;
- трансформировать инвариантные процедуры принятия управленческих решений на основе оптимизационного моделирования процесса персонализированного ресурсного обеспечения для организационной системы оказания фармацевтической и медицинской помощи пациентам, страдающим редкими заболеваниями.

Материалы и методы

Материалы исследования базируются на характеристике особенностей функционирования и управления лекарственным обеспечением и медицинской помощью пациентам, страдающим редкими заболеваниями, как территориальной организационной системой с персонализированными субъектами.

1. Многоуровневый характер взаимодействия федерального органа исполнительной власти с субъектами РФ, обеспечивающего удовлетворение потребностей пациентов в лекарственном обеспечении и медицинской помощи.

2. Ограниченный объем ресурсного обеспечения при финансировании из бюджетов двух уровней в соответствии с регистром орфанных заболеваний, стандартами оказания медицинской помощи и ассортимента лекарственных препаратов.

3. Установление потребности в ресурсном обеспечении на всех уровнях принятия управленческих решений на основе объединения персонализированных заявок в сводные заявки субъектов РФ с детализацией по группам пациентов, страдающих редкими заболеваниями, перечням высокочрезвычайных нозологий и лекарственных препаратов.

4. Формирование маршрутных карт для органов управления и пациентов, регламентирующих последовательность действий при распределении и использовании ресурсного обеспечения.

5. Системная централизация лекарственного обеспечения и медицинской помощи путем централизации закупок лекарственных препаратов и установления перечня медицинских и фармацевтических организаций для равного доступа пациентов к персонализированному ресурсу.

6. Направленность цифрового мониторинга не только на фиксацию выписанных, отпущенных и находящихся на контроле рецептов лекарственных препаратов, но и оценивание результативности лекарственного обеспечения и медицинской помощи по установленным индикаторам

7. Автоматизация интеграционной модели управления персонализированным ресурсораспределительным процессом за счет использования цифровизированных

регистров, реестров, мониторинговых данных на базе ГИС-ориентированной карты РФ с возможностью поддерживать управленческие решения в электронном формате.

8. Достаточность эмпирических данных на сайте федерального центра планирования и организации лекарственного обеспечения граждан, данных Минздрава РФ, фонда «Круг добра» для анализа управленческих решений по результатам статистической обработки исходной информации.

Методы исследования определяются средствами оптимизации управленческих решений межуровневого взаимодействия при распределении ресурсного обеспечения [2] и проблемной ориентацией на перечисленные выше особенности организационной системы лекарственного обеспечения и медицинской помощи пациентам, страдающим редкими заболеваниями. В первую очередь это приоритетно-альтернативное оптимизационное моделирование при взаимодействии управляющего центра с $i = \overline{1, I}$ территориальными образованиями. В качестве альтернативных вариантов рассматриваются ряд схем распределения централизованного ресурса V с использованием коэффициентов приоритетности $a_i, i = \overline{1, I}$, которые оцениваются экспертами по уровню показателей $F_{il}, l = \overline{1, L}$: пропорциональная, обратных приоритетов, параметрическая, редукционная на базе многоальтернативной оптимизационной модели и экспертного оценивания [9].

Далее осуществляется распределение территориального ресурса $V_i, i = \overline{1, I}$ между $m_n = \overline{1, M_n}$ персонализированными субъектами по $n = \overline{1, N}$ направлениям с целью определения ресурсов $V_{imn}, i = \overline{1, I}, m_n = \overline{1, M_n}, n = \overline{1, N}$ на основе разнонаправленных граничных требований по достижению заданного уровня, $f_j^o, j = \overline{1, J}$ результативности по показателям $j = \overline{1, J}$ и баланса с ограниченным ресурсом $V_i, i = \overline{1, I}$ с использованием оптимизационной модели блочного линейного программирования [10]. При этом экстремальное требование направлено на минимизацию отклонений V_{imn} от потребности \hat{V}_{imn} .

Результаты и обсуждение

Особенности функционирования территориально распределенной организационной системы с персонализированными субъектами определяют направления трансформации инвариантных средств принятия управленческих решений на основе оптимизационного моделирования, охарактеризованных выше при регулировании ресурсораспределительного процесса.

Во-первых, требуется внести следующие изменения в описания территориального и персонально ориентированного уровней распределения централизованного ресурса V :

- $i = \overline{1, I}$ – нумерационное множество субъектов РФ, $I = 89$;
- $l = \overline{1, L}$ – нумерационное множество критериев F_l , влияющих на субвенции бюджетам РФ;
- $l = 1$ – численность граждан, включенных в федеральный регистр;
- $l = 2$ – финансовые затраты в месяц на 1 гражданина, включенного в регистр, подтверждающие невозможность исполнения полномочий субъекта РФ по обеспечению граждан с орфанными заболеваниями;
- $l = 3$ – уровень расчетной бюджетной обеспеченности,
- $l = 4$ – объем средств на выполнение полномочий;
- $j = \overline{1, J}$ – нумерационное множество индикаторов результативности лекарственного обеспечения и медицинской помощи пациентам, страдающим редкими заболеваниями, $J = 11$ [6];

- $n = \overline{1, N}$ – нумерационное множество, определяемое перечнем нозологий и группами пациентов;
- $m_n = \overline{1, M_n}$ – нумерационное множество, заявленное в регистре пациентов по каждой нозологии и группе.

Во-вторых, необходимо внести дополнения и изменения в формализованное описание задач оптимизации и процесс принятия управленческих решений на их основе.

Кроме базовой оптимизационной модели распределения централизованного ресурса между субъектами РФ, как территориальными образованиями [2], возникает необходимость в постановке и решении еще одной задачи. Полномочия субъекта РФ включают в себя предоставление управляющему центру ежемесячного отчета о расходовании ресурса V_i , что фиксируется в электронном виде на интерактивной карте России и позволяет установить регионы $i' = \overline{1, I'}$, в которых на момент t^0 имеются остатки средств, и регионы $i'' = \overline{1, I''}$, в которых потребность персонализированных субъектов полностью не удовлетворяется.

В случае определения суммарного остатка

$$V = \sum_{i'=1}^{I'} V_{i'}, \quad (1)$$

где $V_{i'}$ – остаток, зафиксированный в i' -м регионе, и потребности в дополнительном ресурсе $\hat{V}_{i''}, i'' = \overline{1, I''}$ возникает возможность перераспределения (1).

При условии

$$\Delta V = \sum_{i''=1}^{I''} V_{i''} > \Delta V, \quad (2)$$

предлагается выбирать между двумя вариантами перераспределения: пропорциональным в случае определения суммарного остатка:

$$V_{i''} = \frac{\hat{V}_{i''}}{\sum_{i''=1}^{I''} \hat{V}_{i''}}, \quad (3)$$

и редуционным на основе модели многоальтернативной оптимизации:

$$\begin{aligned} \sum_{i''=1}^{I''} \frac{V_{i''}}{\sum_{i''=1}^{I''} \hat{V}_{i''}} x_{i''} &\rightarrow \max, \\ \sum_{i''=1}^{I''} \hat{V}_{i''} x_{i''} &\leq \Delta V, \\ x_{i''} &= \begin{cases} 1, & \text{если } i'' \text{ – й субъект РФ получает дополнительный ресурс } \hat{V}_{i''} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \end{aligned} \quad (4)$$

где $x_{i''} = \begin{cases} 1, & \text{если } i'' \text{ – й субъект РФ получает дополнительный ресурс } \hat{V}_{i''} \\ & \text{при перераспределении остатка } \Delta V, \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$

Решение задачи (4) с использованием поискового алгоритма многоальтернативной оптимизации позволяет получить доминирующее множество вариантов распределения. Выбор наилучшего варианта $V_{i''}^*, i'' = \overline{1, I''}$ с учетом (3) осуществляется на основе экспертных оценок [9].

Кроме того, требуется внести изменения в оптимизационную модель распределения территориального ресурса V_i между персонализированными субъектами [2]:

$$\sum_{n=1}^N \left[\sum_{m''_n=1}^{M''_n} (\hat{V}_{im''_n} - V_{im''_n}) + \sum_{m''_n=1}^{M''_n} (V_{im''_n} - \hat{V}_{im''_n}) \right] \rightarrow \min_{V_{im''_n}}, \quad (5)$$

$$\sum_{n=1}^N \sum_{m_n=1}^{M_n} b_{mnj} V_{imn} \geq f_j^o, j = \overline{1, J}, \quad (6)$$

$$\sum_{n=1}^N \sum_{m_n=1}^{M_n} V_{imn} \leq V_i, \quad (7)$$

где $m_n'' = 1, M_n''$ – нумерационное множество пациентов, для которых $\hat{V}_{im''n} > V_{im''n}$; $m_n''' = 1, M_n'''$ – нумерационное множество пациентов, для которых $V_{im'''n} > \hat{V}_{im'''n}$; b_{mnj} – коэффициент влияния объема ресурсного обеспечения V_{imn} на значения индикаторов результативности f_i в модели чувствительности:

$$f_i = \varphi_i(b_{mnj}, V_{imn}), j = \overline{1, J}.$$

Экстремальное требование (5) сохраняется без изменений.

Граничное требование результативности изменяется с учетом того, что в [6] установлены градации степени достижения фактического значения индикатора f_i значения заданному нормативу f_j^o :

$$s_j = \frac{f_i}{f_j^o} 100\%. \quad (8)$$

В оптимизационной модели будем ориентироваться на градацию <высокая значимость>, которой соответствует значение (8) свыше 80 % по индикатору результативности.

Тогда ограничение (6) имеет вид:

$$\frac{\sum_{n=1}^N \sum_{m_n=1}^{M_n} b_{mnj} V_{imn}}{f_j^o} 100 \geq 80. \quad (9)$$

Изменение граничного требования к объёму ресурса (7) обусловлено необходимостью установления баланса между персонализированными ресурсами и последующим территориальным объемом ресурса. До перераспределения ограничение (6) имеет вид:

$$V_i' = V_i + V_i^p, \quad (10)$$

где V_i^p – объем регионального ресурса.

После перераспределения для субъектов РФ из нумерационного множества $i'' = \overline{1, I''}$:

$$V_i'' = V_i'' + V_i^p + V_i^*. \quad (11)$$

Соответственно в качестве правой части ресурсного ограничения (7) используется одно из значений (10), (11).

Решение трансформированной оптимизационной задачи (5)–(7) осуществляется методом блочного линейного программирования [10].

В-третьих, в интеграционную модель управления распределением централизованного ресурса пациентам, страдающим редкими заболеваниями [6], вносятся дополнительные блоки, связанные с интеллектуальной поддержкой принятия решений на основе оптимизационного моделирования, что представлено на Рисунке 1.

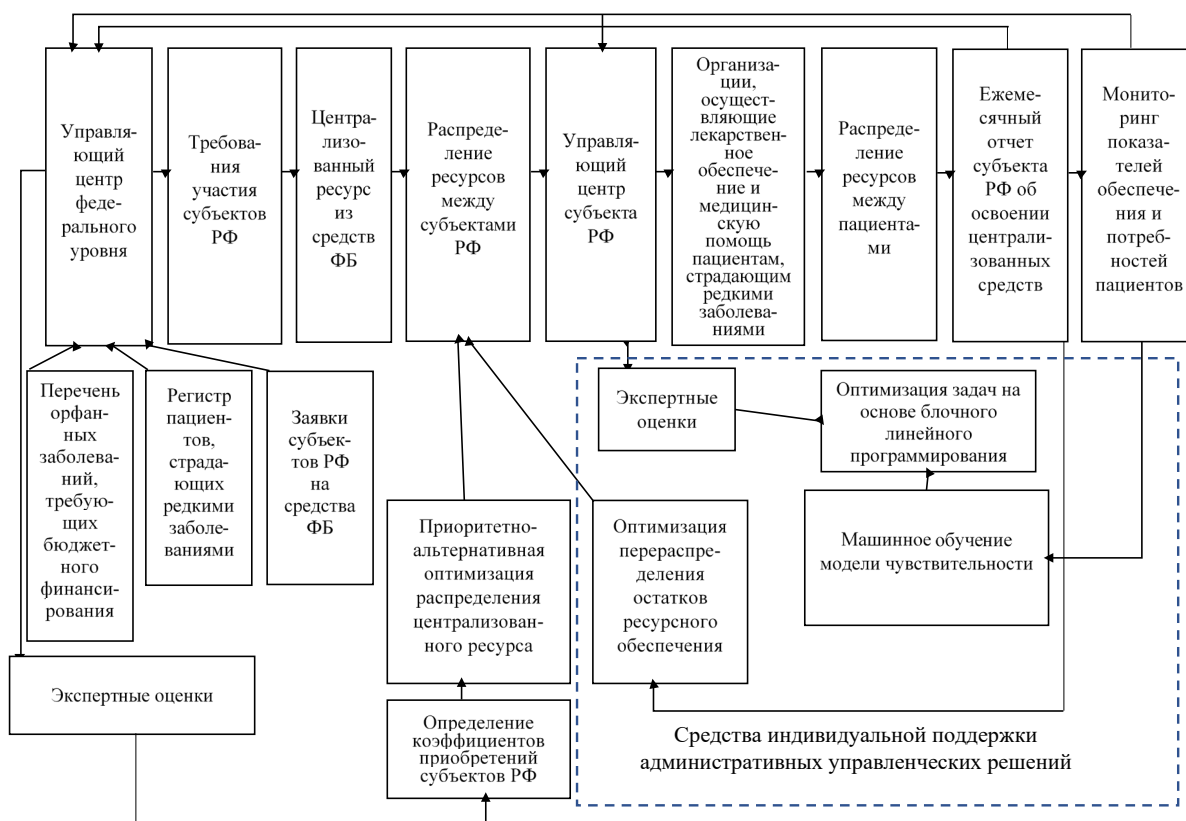


Рисунок 1 – Интеграционная модель управления в организационной системе лекарственного обеспечения и медицинской помощи пациентам, страдающим редкими заболеваниями
 Figure 1 – Integration model of management in the organizational system of drug provision and medical care for patients with rare diseases

Заключение

Многоуровневое оптимизационное моделирование при управлении ресурсами лекарственного обеспечения и медицинской помощи пациентам, страдающим редкими заболеваниями, основано на трансформации инвариантных средств принятия управленческих решений в территориально распределенной организационной системе с персонализированными субъектами.

Оптимизация межуровневого взаимодействия управляющего центра федерального уровня с субъектами РФ при распределении централизованного ресурса включает дополнительно к приоритетно-альтернативной модели выбора управленческого решения оптимизационную модель перераспределения остатков ресурсного обеспечения по результатам ежемесячных отчетов регионов с использованием интерактивной карты территориально распределенной организационной системы.

Изменения оптимизационного моделирования распределения ресурсов из трех источников: федерального, региональных бюджетов и перераспределенных средств – состоят в переходе к граничным требованиям в блочной модели линейного программирования, ориентированном на особенности исследуемой организационной системы.

Объединение управленческих действий на административном уровне и средств их интеллектуальной поддержки на основе проблемно ориентированного многоуровневого оптимизационного моделирования позволяет сформировать

интеграционную модель управления организационной системой лекарственного обеспечения медицинской помощи пациентам, страдающим редкими заболеваниями.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Новиков Д.А. *Теория управления организационными системами*. Москва: ЛЕНАНД; 2022. 500 с.
2. Максин А.Д., Преображенский А.П. Оптимизация управления персонализированным распределением ресурсного обеспечения в территориальной организационной системе. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2025;13(4). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2025.51.4.065>
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.). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2025.51.4.065>
3. Гаранкина Р.Ю., Самощенко И.Ф., Захарочкина Е.Р., Кондратова Д.В., Бехорашвили Н. Орфанные заболевания: регулирование лекарственного обеспечения пациентов в России. *Медико-фармацевтический журнал «Пульс»*. 2023;25(4):38–47. <https://doi.org/10.26787/nydha-2686-6838-2023-25-4-38-47>
Garankina R.Y., Samoshchenkova I.F., Zakharochkina E.R., Kondratova D.V., Bekhorashvili N. Orphan diseases: regulation of drug provision for patients in Russia. *Medical & Pharmaceutical Journal "Pulse"*. 2023;25(4):38–47. (In Russ.). <https://doi.org/10.26787/nydha-2686-6838-2023-25-4-38-47>
4. Дедов И.И., Тюльпаков А.Н., Чехонин В.П. и др. Персонализированная медицина: современное состояние и перспективы. *Вестник Российской академии медицинских наук*. 2012;67(12):4–12. <https://doi.org/10.15690/vramn.v67i12.474>
Dedov I.I., Tyul'pakov A.N., Chekhonin V.P., et al. Personalized medicine: state-of-the-art and prospects. *Annals of the Russian Academy of Medical Sciences*. 2012;67(12):4–12. (In Russ.). <https://doi.org/10.15690/vramn.v67i12.474>
5. Джупарова И.А., Сбоева С.Г. Методика оптимизации фармацевтической помощи отдельным категориям граждан. *Фармация*. 2011;(1):18–21.
Dzhuparova I.A., Sboyeva S.G. Procedure for optimizing pharmaceutical care to individual categories of citizens. *Pharmacy*. 2011;(1):18–21. (In Russ.).
6. Косякова Н.В., Ягудина Р.И. Лекарственное обеспечение пациентов с орфанными заболеваниями. Этапы маршрутизации. *Современная организация лекарственного обеспечения*. 2018;(2):44–48.
Kosiakova N.V., Yagudina R.I. Medicines for patients with orphan diseases. Routing steps. *Modern Organization of Drug Supply*. 2018;(2):44–48. (In Russ.).
7. Витковская И.П. Алгоритмы обеспечения пациентов с орфанными заболеваниями лекарственными препаратами: нормативный правовой аспект. Аналитический обзор. *Социальные аспекты здоровья населения*. 2024;70(S5). <https://doi.org/10.21045/2071-5021-2024-70-S5-25>
Vitkovskaya I.P. Algorithms for providing patients with orphan diseases with medicines: The normative legal aspect. Analytical review. *Social Aspects of Population Health*. 2024;70(S5). (In Russ.). <https://doi.org/10.21045/2071-5021-2024-70-S5-25>
8. Корчагин С.Г., Рынди́н А.А., Рынди́н Н.А. *Управление в организационных системах на основе цифровых технологий*. Воронеж: Научная книга; 2025. 248 с.
9. Львович И.Я. *Принятие решений на основе оптимизационных моделей и экспертной информации*. Воронеж: Научная книга; 2023. 231 с.

10. Жариков А.В., Оскорбин Н.М. Методы блочного линейного программирования. В сборнике: *Труды семинара по геометрии и математическому моделированию*. Барнаул: Алтайский государственный университет; 2013. С. 22–28.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Гафанович Елена Яковлевна, кандидат медицинских наук, доцент кафедры факультетской терапии лечебного факультета, Саратовский государственный медицинский университет им. В.И. Разумовского, Саратов, Российская Федерация.

e-mail: lvovicha@mail.ru

ORCID: [0000-0001-9122-6483](https://orcid.org/0000-0001-9122-6483)

Elena Y. Gafanovich, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor at the Department of Faculty Therapy of the Faculty of Medicine, Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky, Saratov, the Russian Federation.

Максин Артем Дмитриевич, аспирант, Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Российская Федерация.

e-mail: mak95@mail.ru

Artem D. Maksin, Postgraduate, Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, the Russian Federation.

Преображенский Андрей Петрович, доктор технических наук, профессор, Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Российская Федерация.

e-mail: app@vvt.ru

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

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

Статья поступила в редакцию 06.04.2026; одобрена после рецензирования 18.05.2026; принята к публикации 25.05.2026.

The article was submitted 06.04.2026; approved after reviewing 18.05.2026; accepted for publication 25.05.2026.