

УДК 616-08

DOI: [10.26102/2310-6018/2025.49.2.047](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2025.49.2.047)

Оптимизация управления развитием процесса диспансеризации населения на основе прогностического моделирования темпов изменения заболеваемости в организационной системе регионального здравоохранения

Е.Я. Гафанович¹, А.И. Львович², А.П. Преображенский^{2✉}, О.Н. Чопоров³

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

²Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Российская Федерация

³Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко, Воронеж, Российская Федерация

Резюме. В статье исследуется возможность повышения эффективности управления развитием процесса диспансеризации населения региона на основе прогностического моделирования темпов изменения заболеваемости. Прогнозные оценки служат предпосылкой для оптимизации управленческих решений при распределении ресурсного обеспечения, запланированного в рамках горизонта прогнозирования управляющим центром организационной системы регионального здравоохранения. На основании многолетних данных статистического учета вычисляются среднегодовые темпы изменения заболеваемости и объемов диспансеризации для оценки дополнительного ресурсного обеспечения. Исходные данные позволяют вычислить темпы изменения для группы нозологических единиц в целом, каждой нозологической единицы и каждого территориального образования. Использование визуально-экспертного моделирования позволяет оценить степень синхронизации изменений заболеваемости с выделением дополнительных объемов диспансеризации. Для системы здравоохранения Воронежской области проведен анализ и подтверждена необходимость учета статистических данных по медицинским учреждениям. Исходя из рассмотрения ретроспективных данных, сделан вывод о недостаточной степени синхронизации темпов изменения заболеваемости с выделенным ресурсом без привлечения оптимизационного подхода. Кроме того, предложено с учетом большого числа территориальных образований Воронежской области провести их предварительную классификацию по темпам изменения на три группы: низкий, средний, высокий уровень. Рассмотрены основные классы задач оптимизации управленческих решений при распределении дополнительных объемов диспансеризации в рамках горизонта планирования развития организационной системы. С этой целью прогностические оценки трансформируются в коэффициенты приоритетности использования планового ресурса. Для распределения объемов диспансеризации между нозологическими единицами ориентируются на оптимизацию с использованием экспертного выбора. Сформирована оптимизационная задача распределения ресурса по территориальным образованиям, на основе которой управленческие решения определяются с использованием алгоритма многоальтернативной оптимизации.

Ключевые слова: организационная система, управление развитием, прогностическое моделирование, визуально-экспертное моделирование, оптимизация.

Для цитирования: Гафанович Е.Я., Львович А.И., Преображенский А.П., Чопоров О.Н. Оптимизация управления развитием процесса диспансеризации населения на основе прогностического моделирования темпов изменения заболеваемости в организационной системе регионального здравоохранения. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2025;13(2). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1919> DOI: 10.26102/2310-6018/2025.49.2.047

Optimization of the management of the development of the process of population medical examination based on predictive modeling of the rate of change in morbidity in the organizational system of regional health care

E.Ya. Gafanovich¹, A.I. Lvovich², A.P. Preobrazhenskiy^{2✉}, O.N. Choporov³

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

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

³*Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko, Voronezh, the Russian Federation*

Abstract. The article examines the possibility of increasing the efficiency of managing the development of the process of medical examination of the population of the region based on predictive modeling of the rate of change in morbidity. As a prerequisite for optimizing management predictive estimates serve decisions in the distribution of resource provision planned within the forecasting horizon by the managing center of the organizational system of regional healthcare. Based on long-term statistical data, the average annual rates of change in morbidity and volumes of medical examinations are calculated as estimates of additional resource provision. The initial data allow us to calculate the rates of change for a group of nosological units as a whole, for each nosological unit and for each territorial entity. The use of visual expert modeling allows us to estimate the degree of synchronization of changes in morbidity with the allocation of additional volumes of medical examination. The expediency of using the analysis of long-term medical and statistical information and predictive estimates for making management decisions within the organizational system of healthcare in the Voronezh Region is substantiated. Based on the analysis of retrospective data, a conclusion was made about the insufficient degree of synchronization of the rate of change in morbidity with the allocated resource without using an optimization approach. In addition, it is proposed to conduct a preliminary classification of the territorial entities of the Voronezh Region by the rate of change into three groups: low, medium, and high, taking into account the large number of territorial entities of the Voronezh Region. The main classes of problems of optimization of management decisions in the distribution of additional volumes of medical examinations within the planning horizon of the development of the organizational system are considered. For this purpose, prognostic estimates are transformed into coefficients of priority of use of the planned resource. To distribute the volumes of medical examinations between nosological units, they focus on optimization using expert choice. An optimization problem of resource distribution among territorial entities is formed, management decisions on the basis of which are determined using the algorithm of multi-alternative optimization.

Keywords: organizational system, development management, predictive modeling, visual expert modeling, optimization.

For citation: Gafanovich E.Ya., Lvovich A.I., Preobrazhenskiy A.P., Choporov O.N. Optimization of the management of the development of the process of population medical examination based on predictive modeling of the rate of change in morbidity in the organizational system of regional health care. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2025;13(2). (In Russ.). URL: <https://moitvvt.ru/journal/pdf?id=1919> DOI: 10.26102/2310-6018/2025.49.2.047

Введение

Одним из направлений развития организационной системы регионального здравоохранения является долгосрочное планирование процесса диспансеризации населения [1]. Особенно это важно для группы населения, включающей лиц старших возрастных групп [2]. Именно для этих групп отмечен рост заболеваемости

кардиологическими заболеваниями, среди которых наибольшую распространенность имеет артериальная гипертония (АГ) [3].

Для повышения эффективности процесса диспансеризации населения используются данные многолетней медико-статистической информации [4]. Эти данные содержат два блока: эпидемиологический – заболеваемость населения [5] и ресурсный – объемы диспансеризации. В [6] показано привлечение экспертных оценок адекватности изменений заболеваемости АГ лиц старших возрастных групп и объемов диспансеризации по ряду нозологических единиц с использованием визуального и прогностического моделирования медико-статистических данных и обращено внимание на возможность распределения запланированных на будущие периоды объемов диспансеризации с учетом темпов изменения показателей заболеваемости и ресурсов.

Анализ и прогнозирование темпов создает предпосылки для решения целого класса задач распределения ресурсного обеспечения, направленных на повышение эффективности развития организационной системы регионального здравоохранения [7]. Оптимизационный подход к решению ресурсно-распределительных задач управления рассмотрен в [8]. При этом в [9] показано, что эффективность принятия управленческих решений достигается за счет использования визуально-экспертного моделирования. Но недостаток указанной работы заключается в том, что не проводился анализ влияния объемов ресурсного обеспечения, а также показателей эффективности. При этом кроме темпов изменения заболеваемости в целом по АГ необходимо использовать оценки по $i = \overline{1, I}$ нозологическим единицам и $d = \overline{1, D}$ территориальным образованиям региона.

Поэтому целью статьи является разработка оптимизационных моделей алгоритмических процедур принятия решений при управлении процессом диспансеризации населения на основе прогностических моделей.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

1) обосновать использование прогностических моделей темпов изменения заболеваемости для решения оптимизационных задач при принятии управленческих решений;

2) сформировать оптимизационные модели и на их основе алгоритмические процедуры принятия управленческих решений при распределении объемов диспансеризации с учетом заданного горизонта планирования.

Использование прогностических моделей темпов изменения заболеваемости для решения оптимизационных задач

Диспансеризация является одним из основных механизмов повышения эффективности медицинской помощи больным в системе регионального здравоохранения [1]. При формировании объемов диспансерного учета на будущие временные периоды $t = \overline{1, \tau}$ предлагается ориентироваться на ретроспективные данные медицинской статистики за временные периоды $t = \overline{1, \tau_1}$ [4]. Как показано в [5], эффект от диспансеризации достигается при синхронизации ее дополнительных объемов $\Delta V(t)$ со среднегодовым темпом прироста заболеваемости по нозологическим единицам $T_i(t)$.

Цепной темп прироста заболеваемости определяется на основе ретроспективной медико-статистической информации для показателей заболеваемости:

по группе нозологий

$$T(t) = \frac{y(t+1) - y(t)}{y(t)} \cdot 100\%, \quad t = \overline{1, \tau_1 - 1}, \quad (1)$$

по нозологическим единицам

$$T_i(t) = \frac{y_i(t+1) - y_i(t)}{y_i(t)} \cdot 100\%, \quad i = \overline{1, I}, \quad t = \overline{1, \tau_1 - 1}, \quad (2)$$

по территориальным образованиям

$$T_{id}(t) = \frac{y_{id}(t+1) - y_{id}(t)}{y_{id}(t)} \cdot 100\%, i = \overline{1, I}, d = \overline{1, D}, t = \overline{1, \tau_1 - 1}. \quad (3)$$

Темпы изменения (1)–(3) управляющий центр стремится синхронизовать с дополнительным объемом диспансеризации в рамках горизонта планирования τ в каждый временной период $t = \overline{1, \tau}$:

$$\Delta V(t), \Delta V_i(t), \Delta V_{id}(t), i = \overline{1, I}, d = \overline{1, D}, t = \overline{1, \tau}. \quad (4)$$

На основании ретроспективной информации (1)–(4) формируют прогностические модели [11]:

$$T^{np}(t), T_i^{np}(t), T_{id}^{np}(t), i = \overline{1, I}, d = \overline{1, D}, t = \overline{1, \tau}, \quad (5)$$

$$\Delta V^{np}(t), \Delta V_i^{np}(t), \Delta V_{id}^{np}(t), i = \overline{1, I}, d = \overline{1, D}, t = \overline{1, \tau}. \quad (6)$$

Обоснование целесообразности использования многолетней медико-статистической информации (1)–(4) и прогностических оценок (5)–(6) проведем на основе данных заболеваемости и диспансеризации населения в рамках организационной системы Воронежской области. При этом будем ориентироваться на анализ заболеваемостью АГ лиц старшего и пожилого возраста и их диспансеризации, результаты которого приведены в [6].

Дополнительно к указанным результатам рассчитаны значения $T(t)$, $T_i(t)$ (Таблица 1). В этой таблице в качестве значений $\Delta V(t)$, $\Delta V_i(t)$ используется изменение числа лиц, взятых под диспансерное наблюдение.

В ходе анализа управленческих решений, которые связаны с системой здравоохранения Воронежской области, будем рассматривать Таблицу 1. Данные в таблице приведены на 100000 человек взрослого населения, старше трудоспособного возраста.

Видно, что в течение обозначенного периода наблюдения $t = \overline{1, \tau_1}$ есть проблемы с реализацией синхронизации $T(t)$, $T_i(t)$ и $\Delta V(t)$, $\Delta V_i(t)$, если не использовать методы оптимизации.

Оптимизационный подход предлагается использовать при распределении $\Delta V_i(t)$ между территориальными образованиями $\Delta V_{id}(t)$, $i = \overline{1, I}$, $d = \overline{1, D}$. Для его применения предварительно проведена классификация районов по приросту заболеваемости на 3 группы: 1) с высоким уровнем заболеваемости; 2) со средним уровнем заболеваемости; 3) с низким уровнем заболеваемости.

В качестве критерия для классификации использовалось среднее квадратическое отклонение $\sigma(y_{id})$ анализируемых показателей y_{id} за временные периоды $t = \overline{1, \tau_1}$ по всей совокупности территориальных образований:

- группа 1 (низкий уровень): $y_{id} < \bar{y}_i - \sigma(y_{id})$,
- группа 2 (средний уровень): $y_i - (y_{id}) \leq y_{id} \leq \bar{y}_i + \sigma(y_{id})$,
- группа 3 (высокий уровень): $y_{id} > \bar{y}_i + \sigma(y_{id})$,

где $\bar{y}_i$ – среднее значение исследуемого показателя.

Таблица 1 – Средние значения и динамика изменения исследуемых показателей, по данным за 2013–2022 гг.

Table 1 – Average values and dynamics of changes in the studied indicators, according to data for 2013–2022

Название показателя	Среднее значение			Среднегодовой прирост, %		
	В среднем по районам	г. Воронеж	Воронежская обл.	В среднем по районам	г. Воронеж	Воронежская обл.
Общая заболеваемость						
Болезни, характеризующиеся повышенным кровяным давлением	29311	37461	32981	+12,6	+11,8	+12,3
Эссенциальная гипертензия	4845	10526	7205	+10,8	+5,8	+7,6
Гипертензивная болезнь сердца	21469,0	25601,6	23460,7	+13,7	+14,2	+13,9
Гипертензивная (гипертоническая) болезнь с преимущественным поражением почек	1294,7	480,6	959,2	+6,8	+36,2	+9,1
Гипертензивная (гипертоническая) болезнь с преимущественным поражением сердца и почек	1702,5	852,8	1355,0	+8,9	+4,4	+7,6
Число лиц, взятых под диспансерное наблюдение из числа больных с впервые в жизни установленным диагнозом						
Болезни, характеризующиеся повышенным кровяным давлением	2408,2	2679,8	2524,6	+27,6	+10,7	+17,9
Эссенциальная гипертензия	343	545	426	+19,5	+4,4	+9,8
Гипертензивная болезнь сердца	1808,6	1982,1	1884,6	+30,6	+14,7	+21,8
Гипертензивная (гипертоническая) болезнь с преимущественным поражением почек	104,2	38,9	77,1	+20,2	+2,2	+14,4
Гипертензивная (гипертоническая) болезнь с преимущественным поражением сердца и почек	152,6	114,5	136,8	+10,8	–6,9	–1,1

Для классификации рассчитаны диапазоны значения $y(t)$, $y_i(t)$, $T(t)$, $T_i(t)$ для $t = \overline{1, \tau_1}$, $T^{np}(t)$, $T_i^{np}(t)$ для $(t) = \overline{1, \tau}$ (Таблица 2) и диапазоны значений числа лиц, взятых под диспансерное наблюдение, пропорциональное объемам дополнительного ресурсного обеспечения, $\Delta V(t)$, $\Delta V_i(t)$ для $t = \overline{1, \tau_1}$, $\Delta V^{np}(t)$, $\Delta V_i^{np}(t)$ для $t = \overline{1, \tau}$ (Таблица 3).

Таблица 2 – Диапазоны значений общей заболеваемости населения, используемые для классификации территориальных единиц Воронежской области

Table 2 – Ranges of values of general morbidity of the population used for classification of territorial units of the Voronezh region

Наименование показателя	Название группы		
	Низкий уровень	Средний уровень	Высокий уровень
Среднее значение показателя за период с 2013 по 2022 гг.			
Болезни, характеризующиеся повышенным кровяным давлением	< 20562,4	20562,4 ÷ 38058,8	> 38058,8
Эссенциальная гипертензия	< -828,1	-828,1 ÷ 5672,5	> 5672,5
Гипертензивная болезнь сердца (гипертоническая болезнь с преимущественным поражением сердца)	< 12543,9	12543,9 ÷ 30394,1	> 30394,1
Гипертензивная (гипертоническая) болезнь с преимущественным поражением почек	< -401,9	-401,9 ÷ 2991,3	> 2991,3
Гипертензивная (гипертоническая) болезнь с преимущественным поражением сердца и почек	< -520,8	-520,8 ÷ 3925,8	> 3925,8
Среднегодовой прирост показателя за период с 2013 по 2022 гг.			
Болезни, характеризующиеся повышенным кровяным давлением	< -1,3	-1,3 ÷ 26,3	> 26,3
Эссенциальная гипертензия	< -38,6	-38,6 ÷ 59,0	> 59,0
Гипертензивная болезнь сердца (гипертоническая болезнь с преимущественным поражением сердца)	< -4,6	-4,6 ÷ 32,0	> 32,0
Гипертензивная (гипертоническая) болезнь с преимущественным поражением почек	< -570,2	-570,2 ÷ 583,8	> 583,8
Гипертензивная (гипертоническая) болезнь с преимущественным поражением сердца и почек	< -75,9	-75,9 ÷ 93,7	> 93,7
Прогнозируемое изменение показателя за период с 2023 по 2025 гг.			
Болезни, характеризующиеся повышенным кровяным давлением	< 35,0	35,0 ÷ 66,4	> 66,4
Эссенциальная гипертензия	< 2,2	2,2 ÷ 4,4	> 4,4
Гипертензивная болезнь сердца (гипертоническая болезнь с преимущественным поражением сердца)	< 2,2	2,2 ÷ 4,4	> 4,4
Гипертензивная (гипертоническая) болезнь с преимущественным поражением почек	< 2,2	2,2 ÷ 4,4	> 4,4
Гипертензивная (гипертоническая) болезнь с преимущественным поражением сердца и почек	< 2,2	2,2 ÷ 4,4	> 4,4

Таблица 3 – Диапазоны значений числа лиц, взятых под диспансерное наблюдение среди больных с впервые в жизни установленным диагнозом, используемые для классификации территориальных единиц Воронежской области

Table 3 – Ranges of values of the number of persons taken under dispensary observation among patients with a diagnosis established for the first time in their life, used for the classification of territorial units of the Voronezh region

Наименование показателя	Название группы		
	Низкий уровень	Средний уровень	Высокий уровень
Среднее значение показателя за период с 2013 по 2022 гг.			
Болезни, характеризующиеся повышенным кровяным давлением	< 1185,9	1185,9 ÷ 3630,5	> 3630,5
Эссенциальная гипертензия	< -209,6	-209,6 ÷ 895,4	> 895,4
Гипертензивная болезнь сердца (гипертоническая болезнь с преимущественным поражением сердца)	< 617,3	617,3 ÷ 2999,9	> 2999,9
Гипертензивная (гипертоническая) болезнь с преимущественным поражением почек	< -58,4	-58,4 ÷ 266,8	> 266,8
Гипертензивная (гипертоническая) болезнь с преимущественным поражением сердца и почек	< -70,9	-70,9 ÷ 376,1	> 4,4
Среднегодовой прирост показателя за период с 2013 по 2022 гг.			
Болезни, характеризующиеся повышенным кровяным давлением	< -367,3	-367,3 ÷ 422,5	> 422,5
Эссенциальная гипертензия	< -208,5	-208,5 ÷ 247,3	> 247,3
Гипертензивная болезнь сердца (гипертоническая болезнь с преимущественным поражением сердца)	< -519,7	-519,7 ÷ 580,9	> 580,9
Гипертензивная (гипертоническая) болезнь с преимущественным поражением почек	< -87,5	-87,5 ÷ 127,9	> 127,9
Гипертензивная (гипертоническая) болезнь с преимущественным поражением сердца и почек	< -127,1	-127,1 ÷ 148,7	> 148,7
Прогнозируемое изменение показателя за период с 2023 по 2025 гг.			
Болезни, характеризующиеся повышенным кровяным давлением	< 35,0	35,0 ÷ 66,4	> 66,4
Эссенциальная гипертензия	< 2,2	2,2 ÷ 4,4	> 4,4
Гипертензивная болезнь сердца (гипертоническая болезнь с преимущественным поражением сердца)	< 2,2	2,2 ÷ 4,4	> 4,4
Гипертензивная (гипертоническая) болезнь с преимущественным поражением почек	< 2,2	2,2 ÷ 4,4	> 4,4
Гипертензивная (гипертоническая) болезнь с преимущественным поражением сердца и почек	< 2,2	2,2 ÷ 4,4	> 4,4

Для использования результатов классификации по $y(t)$, $\Delta V(t)$ [8] осуществлена визуальная трансформация ранжирования районов Воронежской области. Обобщение исследований представлено на Рисунках 1, 2. Данные приведены на 100000 человек населения.

Предварительное прогностическое и визуальное моделирование многолетней медико-статистической информации создает предпосылки для принятия управленческих решений на основе оптимизационных задач.

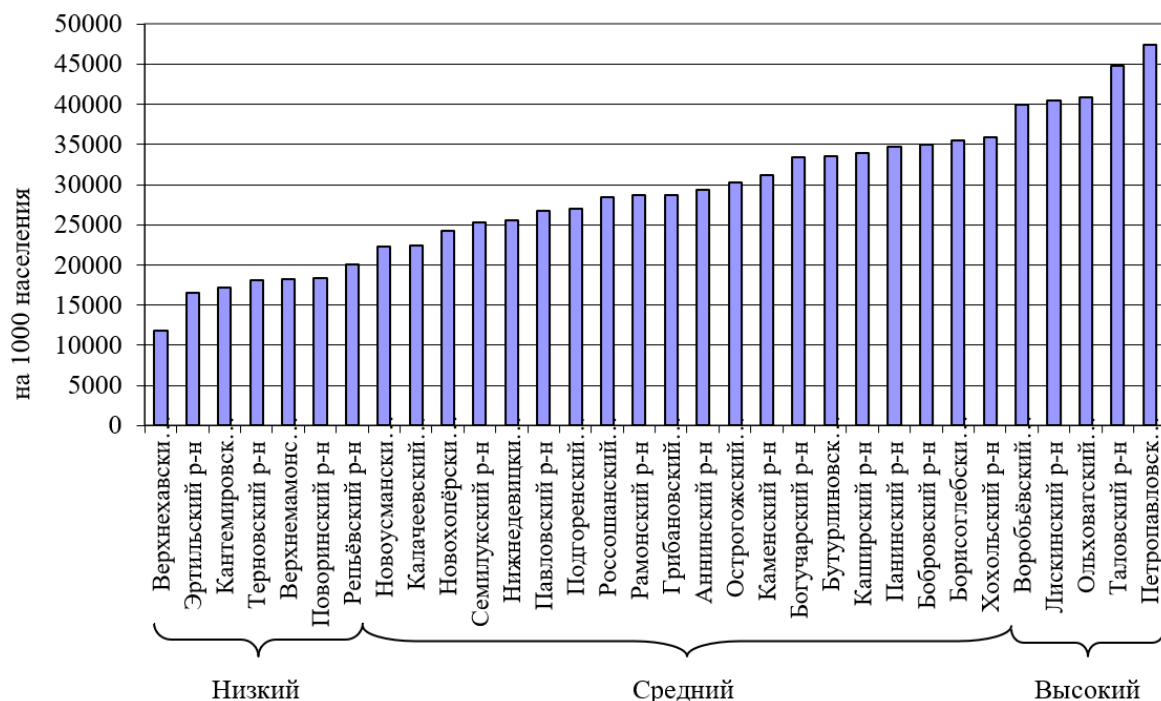


Рисунок 1 – Классификация районов Воронежской области по уровню общей заболеваемости болезнями, характеризующиеся повышенным кровяным давлением, в среднем за 2013–2022 гг.

Figure 1 – Classification of districts of the Voronezh region by the level of general incidence of diseases characterized by high blood pressure, on average for 2013–2022

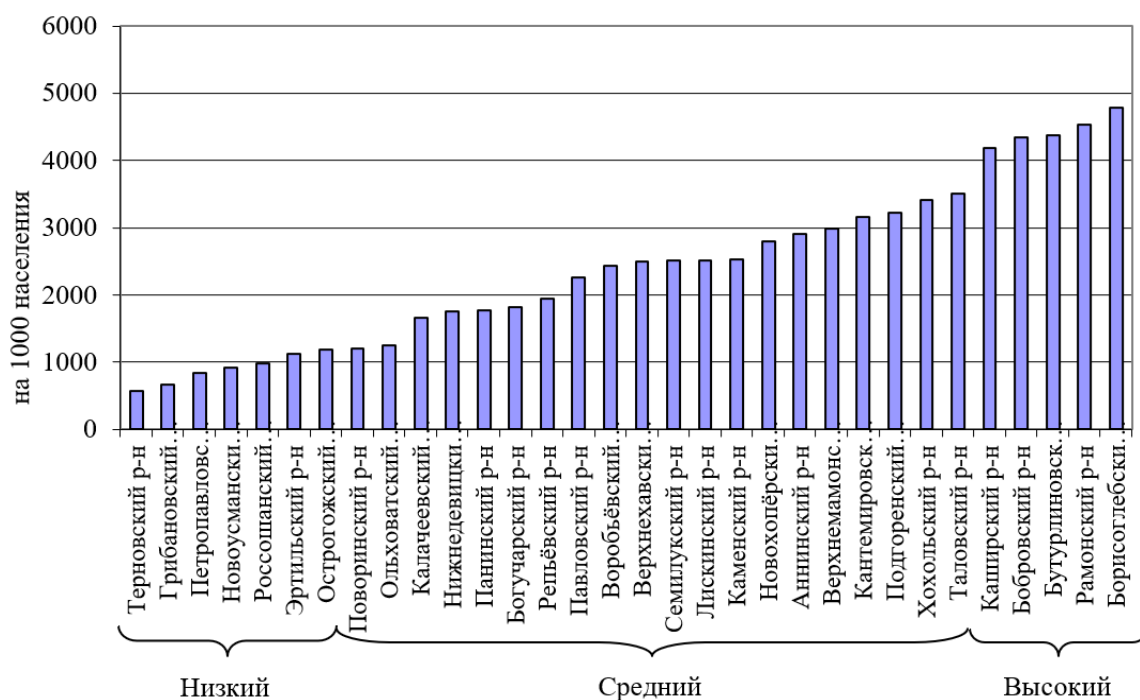


Рисунок 2 – Классификация районов Воронежской области по числу лиц, взятых под диспансерное наблюдение среди больных с впервые в жизни установленным диагнозом «Болезни, характеризующиеся повышенным кровяным давлением», в среднем за 2013–2022 гг.

Figure 2 – Classification of districts of the Voronezh region by the number of persons taken under dispensary observation among patients with the first-ever diagnosis of "Diseases characterized by high blood pressure", on average for 2013–2022

Оптимизационное моделирование принятия управленческих решений

С целью принятия управленческих решений при планировании объемов диспансеризации рассматриваются 3 этапа формирования математического обеспечения, направленные на интеллектуальную поддержку органов управления здравоохранением региона:

- 1) построение прогностических моделей временных рядов $T^{np}(t)$, $T_i^{np}(t)$, $T_{id}^{np}(t)$ по данным за период $t = \overline{1, \tau_1}$ с использованием машинного обучения нейронной сети;
- 2) выбор варианта распределения плановых объектов диспансеризации $V^{nl}(t)$ на период $t = \tau_1 + 1, \tau_1 + \tau$ с использованием приоритетов по нозологическим единицам $V^{nl}(t)$;
- 3) выбор варианта распределения дополнительного объема диспансеризации $\Delta V_i(t) = V_i^{nn}(t) - V_i(\tau)$ между территориальными образованиями с использованием процедуры многоальтернативной оптимизации [10].

На первом этапе формируются выборки значений T, T_i, T_{id} , $i = \overline{1, I}$, $d = \overline{1, D}$ для каждого периода $t = \overline{1, \tau_1}$ многолетних статистических данных. Эти выборки используются для машинного обучения нейросетевых моделей, позволяющих определить значения $T^{np}, T_i^{np}, T_{id}^{np}$ в зависимости от периодов горизонта планирование $t = \tau_1 + 1, \tau_1 + \tau$.

Полученные прогностические оценки используются для последующего принятия решений. Кроме этого, управляющий центр устанавливает оценки потребности объемов диспансеризации, по которой рассчитываются будущие периоды $V_i(t)$, $i = \overline{1, I}$, $t = \tau_1 + 1, \tau_1 + \tau$. Для выбора варианта распределения планового ресурса $V^{nl}(t)$, $t = \tau_1 + 1, \tau_1 + \tau$, который также устанавливается управляющим центром, определяются коэффициенты приоритетности использования планового ресурса

$$L_i = \frac{T_i^{np}(t)}{T^{np}(t)}, \quad i = \overline{1, I}, \quad t = \tau_1 + 1, \tau_1 + \tau. \quad (7)$$

С использованием коэффициентов (7) и с учетом потребностей $V_i^o(t)$, $i = \overline{1, I}$, $t = \tau_1 + 1, \tau_1 + \tau$ выбирается лучший вариант распределения [8] по одному из следующих методов:

пропорциональное

$$V_i(t) = \begin{cases} V_t^o(t), & \text{если } \sum_{i=1}^I V_i^o \leq V^{nl}(t), \\ \frac{L_i(t)V_i^o(t)}{\sum_{i=1}^I L_i(t)V_i^o(t)} V^{nl}(t), & \text{если } \sum_{i=1}^I V_i^o > V^{nl}(t), i = \overline{1, I}, \end{cases} \quad (8)$$

обратных приоритетов

$$V_i(t) = \begin{cases} V_t^o(t), & \text{если } \sum_{i=1}^I V_i^o \leq V^{nl}(t), \\ \frac{\frac{L_i(t)}{V_i^o(t)}}{\sum_{i=1}^I \frac{L_i(t)}{V_i^o(t)}} V^{nl}(t), & \text{если } \sum_{i=1}^I V_i^o > V^{nl}(t), i = \overline{1, I}. \end{cases} \quad (9)$$

Наилучший вариант из (8)–(9) выбирается на основе экспертных оценок.

На третьем этапе осуществляется распределение $V_i^{nl}(t)$, $i = \overline{1, I}$, $t = \tau_1 + 1, \tau_1 + \tau$ между $d = \overline{1, D}$ территориальными образованиями. С этой целью эксперты оценивают визуальные представления спрогнозированных временных рядов $V_{id}^{np}(t)$, с $i = \overline{1, I}$, $t = \tau_1 + 1, \tau_1 + \tau$ позиций синхронизации среднегодовых темпов

прироста заболеваемости с необходимостью планирования d -му территориальному образованию дополнительного объема ресурсного обеспечения $\Delta V_{id}(t)$, $i = \overline{1, I}$, $t = \overline{\tau_1 + 1, \tau_1 + \tau}$. На основе экспертного оценивания территориальные образования ранжируются внутри каждой из трех групп (Рисунок 1) с присвоением значений рангов $r_{id}(t) = \overline{1, D}$. Последние используются для расчета коэффициентов приоритетности дополнительного ресурсного обеспечения $\beta_{id}(t)$, принимающих значения $0 \leq \beta_{id}(t) \leq 1$, $\sum_{d=1}^D \beta_{id}(t) = 1$.

Дополнительно учитываются демографические особенности региона, доступность медицинской инфраструктуры и текущее распределение медицинского персонала. Это позволяет повысить точность прогноза и обеспечить сбалансированное распределение ресурсов, минимизируя риски перегрузки отдельных учреждений здравоохранения и скорректировать коэффициент приоритетности ресурсного обеспечения $\beta_{id}(t)$:

$$\beta_{id}(t) = \frac{T_{id}^{np}(t) \cdot P_{id}(t) \cdot M_{id}(t)}{\sum_{d=1}^D T_{id}^{np}(t) \cdot P_{id}(t) \cdot M_{id}(t)},$$

где $M_{id}(t)$ – коэффициент доступности медицинской инфраструктуры, отражающий обеспеченность медицинскими учреждениями, оборудованием и персоналом.

Управленческое решение принимается при условии максимизации функции приоритетности и ограниченности, учитывающих потребности $\Delta V_{id}^0(t)$:

$$\sum_{i=1}^I \sum_{d=1}^D \beta_{id}(t) x_{id}(t) \rightarrow \max, \sum_{d=1}^D \Delta V_{id}^0(t) x_{id}(t) \leq V_i^{nl}(t), i = \overline{1, I}, \quad (10)$$

где $x_{id}(t)$ – альтернативные оптимизируемые переменные

$x_{id}(t) = \{1, \text{если для временного периода по } i\text{-й нозологической единице для } d\text{-го территориального образования дополнительное ресурсное обеспечение } \Delta V_{id}^0, 0, \text{ в противном случае } i = \overline{1, I}, d = \overline{1, D}, t = \overline{\tau_1 + 1, \tau_1 + \tau}\}.$

В результате решения (10) при значениях, полученных на предыдущем этапе интеллектуальной поддержки, получаем номера $d^*(t)$ тех территориальных образований, для которых $x_{id}^*(t) = 1$. Для них устанавливается дополнительное ресурсное обеспечение $\Delta V_{id^*}^0(t)$, $i = \overline{1, I}$, $d = \overline{1, D}$, $t = \overline{\tau_1 + 1, \tau_1 + \tau}$.

Заключение

Для принятия решений при управлении развитием процесса диспансеризации населения в организационной системе регионального здравоохранения эффективным подходом является объединение визуально-экспертного, прогностического и оптимизационного моделирования.

Механизм многолетнего статистического учета заболеваемости населения региона и объемов диспансеризации создает предпосылки для обоснованного управления распределением ресурсного обеспечения развития организационной системы при заданном горизонте планирования ресурсов.

Анализ ретроспективных среднегодовых темпов изменения заболеваемости и объемов диспансеризации позволяет экспертам оценить степень синхронизации этих показателей для каждого временного периода с использованием визуальной трансформации многолетней медико-статистической информации.

Для обеспечения синхронизации среднегодовых темпов изменения заболеваемости и объемов диспансеризации в рамках горизонта планирования

целесообразно ориентироваться на прогностические оценки этих показателей для каждого временного периода.

Визуально-экспертное моделирование результатов прогнозирования дает возможность определить параметры экстремального требования при формировании оптимизационной модели и определить управленческие решения с использованием экспертного выбора и алгоритма многоальтернативной оптимизации.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Шейман И.М., Шишкин С.В., Шевский В.И., Сажина С.В., Понкратова О.Ф. Диспансеризация населения: ожидания и реальность. *Мир России*. 2021;30(4):6–29. <https://doi.org/10.17323/1811-038X-2021-30-4-6-29>
Sheiman I., Shishkin S., Shevsky V., Sazhina S., Ponkratova O. Regular Medical Check-Ups in Russia: Expectations and Reality. *Universe of Russia*. 2021;30(4):6–29. (In Russ.). <https://doi.org/10.17323/1811-038X-2021-30-4-6-29>
2. Котовская Ю.В. Гериатрическая кардиология – веление времени. *Российский журнал гериатрической медицины*. 2023;(1):6–13. <https://doi.org/10.37586/2686-8636-1-2023-6-13>
Kotovskaya Yu.V. Geriatric Cardiology – An Imperative of Our Time. *Russian Journal of Geriatric Medicine*. 2023;(1):6–13. (In Russ.). <https://doi.org/10.37586/2686-8636-1-2023-6-13>
3. Климов А.В., Денисов Е.Н., Иванова О.В. Артериальная гипертензия и ее распространенность среди населения. *Молодой ученый*. 2018;(50):86–90.
4. Мамаев А.Н., Кудлай Д.А. *Статистические методы в медицине*. Москва: Практическая медицина; 2021. 136 с.
5. Артюхов И.П., Капитонов В.Ф., Сенченко А.Ю., Капитонов Ф.В. Заболеваемость населения в условиях активной диспансеризации. *Сибирское медицинское обозрение*. 2019;(2):110–116. <https://doi.org/10.20333/2500136-2019-2-110-116>
Artyukhov I.P., Kapitonov V.F., Senchenko A.Yu., Kapitonov F.V. Morbidity of Population in the Conditions of Active Clinical Examination. *Siberian Medical Review*. 2019;(2):110–116. (In Russ.). <https://doi.org/10.20333/2500136-2019-2-110-116>
6. Гафанович Е.Я., Ломаков А.В., Львович А.И., Чопоров О.Н. Визуальное и прогностическое моделирование заболеваемости артериальной гипертензией лиц старших возрастных групп и их диспансеризации. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2024;12(2). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2024.45.2.014>
Gafanovich E.Ya., Lomakov A.V., Lvovich A.I., Choporov O.N. Visual and Predictive Modeling of Morbidity Arterial Hypertension in Older Age Groups and Their Medical Examination. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2024;12(2). (In Russ.). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2024.45.2.014>
7. Лобкова Е.В., Петриченко А.С. Управление эффективностью региональной системы здравоохранения. *Региональная экономика: теория и практика*. 2018;16(2):274–295. <https://doi.org/10.24891/re.16.2.274>
Lobkova E.V., Petrichenko A.S. Managing the Effectiveness of the Regional Health System. *Regional Economics: Theory and Practice*. 2018;16(2):274–295. (In Russ.). <https://doi.org/10.24891/re.16.2.274>
8. Львович Я.Е., Михель А.А. Управление ресурсным обеспечением в системе высшего образования на основе интеграции мониторинговой и экспертной информации. *Экономика и менеджмент систем управления*. 2014;(2–3):400–406.

9. Львович А.И., Преображенский А.П. Оптимизация ресурсного обеспечения при заданном горизонте планирования процесса развития организационной системы с использованием визуально-экспертного моделирования. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2022;10(3). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2022.38.3.015>
Lvovich A.I., Preobrazhenskiy A.P. Optimization of Resource Support at a Given Planning Horizon of the Organizational System Development Process Using Visual Expert Modeling. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2022;10(3). (In Russ.). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2022.38.3.015>
10. Львович Я.Е. *Многоальтернативная оптимизация: теория и приложения*. Воронеж: Издательство «Квартал»; 2006. 415 с.

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.

Львович Артем Игоревич, аспирант, Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Российская Федерация.
e-mail: AlexStepanch@yandex.ru

Artem I. Lvovich, 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.

Чопоров Олег Николаевич, доктор технических наук, профессор, проректор по цифровой трансформации, Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко, Воронеж, Российская Федерация.
e-mail: choporov_oleg@mail.ru
ORCID: [0000-0002-3176-499X](https://orcid.org/0000-0002-3176-499X)

Oleg N. Choporov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Vice-Principal for Digital Transformation, Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko, Voronezh, the Russian Federation.

Статья поступила в редакцию 24.04.2025; одобрена после рецензирования 30.05.2025; принята к публикации 17.06.2025.

The article was submitted 24.04.2025; approved after reviewing 30.05.2025; accepted for publication 17.06.2025.