

УДК 681.3

DOI: [10.26102/2310-6018/2024.44.1.015](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2024.44.1.015)

Оптимизация моделирования процессов балансировки и ребалансировки инвестиций для реализации программы развития многообъектной организационной системы

И.М. Бухольцев✉, Я.Е. Львович

Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Российская Федерация

Резюме. Статья посвящена оптимизации управления инвестициями при формировании и реализации программы развития многообъектной информационной системы. Рассматривается этап, связанный с переходом от выполненной за некоторый временной период программы развития к новой программе развития с заданным горизонтом планирования. Показано, что в момент перехода осуществляется балансировка инвестиций, а в процессе реализации возникает необходимость их ребалансировки. Для первой задачи сформирована многоуровневая система балансовых условий, которая является основой для построения оптимизационных моделей процесса балансировки. Поскольку нижний уровень балансовых условий связан с требованием роста значения показателей развития объектов организационной системы до определенной величины, установленной управляющим центром, задачи оптимизации базируются на прогностических оценках. Эти оценки вычисляются либо по результатам нейросетевого моделирования, либо экспертного оценивания. При формировании оптимизационных моделей процесса ребалансировки инвестиций рассматриваются два способа выявления отклонения значения показателей развития от планируемой траектории роста: в заданный момент времени, при превышении порогового значения. В этих случаях определяется момент времени, в который осуществляется коррекция оптимальной стратегии распределения инвестиций между временными переходами для выхода в конечной точке на заданный уровень показателей развития. Таким образом, предложенный переход позволяет оптимизировать распределение инвестиций в рамках программы развития как в процессе их балансировки, так и ребалансировки.

Ключевые слова: многообъектная организационная система, программа развития, инвестирование, оптимизация, нейросетевое моделирование, экспертное оценивание.

Для цитирования: Бухольцев И.М., Львович Я.Е. Оптимизация моделирования процессов балансировки и ребалансировки инвестиций для реализации программы развития многообъектной организационной системы. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2024;12(1). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1419> DOI: 10.26102/2310-6018/2024.44.1.015

Optimization of modeling processes of balancing and rebalancing investments for the implementation of multi-object organizational system development program

I.M. Bukholtsev✉, Y.E. Lvovich

Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, the Russian Federation

Abstract. The article examines the optimization of investment management in the formation and implementation of multi-object information system development program. The stage connected with the transition from the development program executed for a certain time period to a new development program with a given planning horizon is considered. It is shown that the investments are balanced at the moment of transition and the need to rebalance them arises in the process of implementation. For

the first problem, a multilevel system of balance conditions is formed, which is the basis for the construction of optimization models of the balancing process. Since the lower level of balance conditions is associated with the requirement to increase the value of organizational system development indicators of objects up to a certain value set by the managing center, the optimization problems are based on predictive assessments. These estimates are calculated either using the results of neural network modeling or expert evaluation. When forming optimization models of the investment rebalancing process, two ways of detecting the deviation of the development indicators value from the planned growth trajectory are considered: at a given point in time; when the threshold value is exceeded. In these cases, the point in time is determined, at which the optimal strategy of investment allocation between time transitions is adjusted in order to reach a given level of development indicators at the end point. Thus, the proposed transition makes it possible to optimize the distribution of investments as part of the development program both in the process of their balancing and rebalancing.

Keywords: multi-object organization system, development program, investment, optimization, neural-network modeling, expert assessment.

For citation: Bukholtsev I.M., Lvovich Y.E. Optimization of modeling processes of balancing and rebalancing investments for the implementation of multi-object organizational system development program. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2024;12(1). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1419> DOI: 10.26102/2310-6018/2024.44.1.015 (In Russ.).

Введение

В многообъектных организационных системах в организационное целое объединено множество объектов $O_i, i = \overline{1, I}$ с однородными видами деятельности [1]. Целенаправленность взаимодействия объектов обеспечивает управляющий центр. В трудах отечественных ученых рассмотрены различные механизмы оптимизации деятельности объектов в зависимости от заданных целей и задач управления: ресурсным обеспечением [2, 3], качественным функционированием [4], ресурсоэффективностью [5, 6], компетенциями персонала [7]. Оптимизационный подход к управлению процессом инвестиций в многообъектной организационной системе исследуется только для конкретного варианта развития отраслевой системы гражданской авиации [8]. Предлагается расширить этот подход в случае инвариантной структурной схемы процесса инвестиций, направленного на развитие многообъектной организационной системы (МОС). В схеме на Рисунке 1 объекты $O_i, i = \overline{1, I}$ являются объектами инвестиций, а управление объемом инвестиций $C_i, i = \overline{1, I}$ при интегральном объеме C осуществляется управляющим центром в зависимости от результативности их воздействия на развитие объектов в соответствии с заданным множеством показателей $y_j, j = \overline{1, J}$ и требований к росту этих показателей до уровня $y_j^0, j = \overline{1, J}$. Взаимодействие участников процесса инвестиций реализуется в рамках программно-целевого подхода [9].

Рассмотрим развитие многообъектной организационной системы как смену программ развития и их целеориентированности. Пусть во временные периоды $t = \overline{1, T}$ действовала программа 1, цели которой определялись достижением показателями $y_{j_1 i}$ уровня $y_{j_1 i}^0, j = \overline{1, J_2}$. При этом осуществлялось инвестирование по n_1 -му ($n_1 = \overline{1, N_1}$) направлению программы в объемах $C_{in_1}(t)$ и проводился мониторинг значений показателей каждого объекта $O_i, i = \overline{1, I}, y_{j_1 ni}(t), t = \overline{1, T}$.

После выполнения указанной программы и достижения значений $y_{j_1 ni}(T)$ разрабатывается программа 2, цели которой определяются достижением показателями

y_{j_2} уровня $y_{j_2}^0 y_{j_2}, j = \overline{1, J_2}$, где $\overline{1, J_1} \cap \overline{1, J_2} \neq \emptyset$, при заданном горизонте планирования $t_1 = \overline{1, T_1}$.

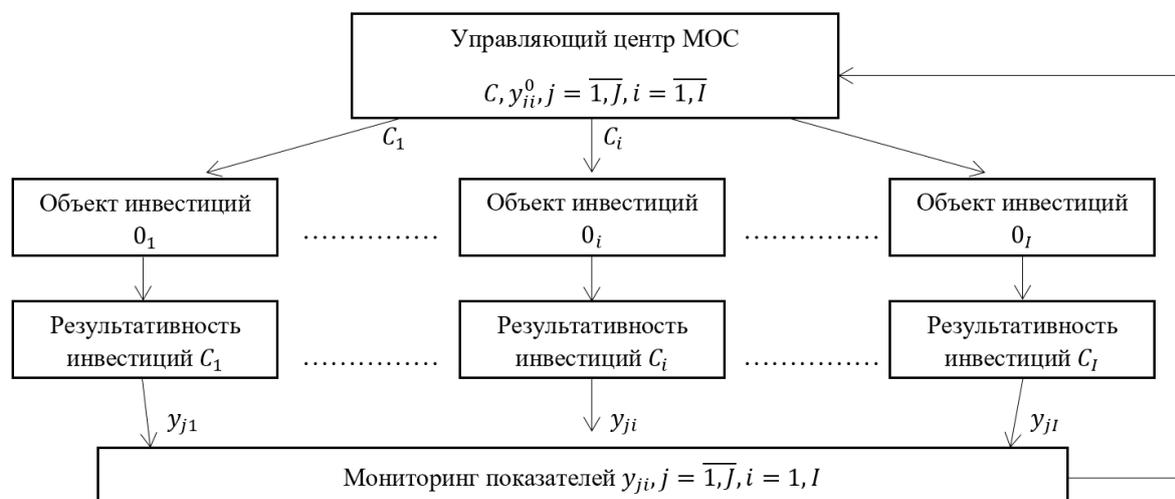


Рисунок 1 – Структурная схема процесса инвестиций МОС.

Figure 1 – Structural diagram of multi-object organizational system investment process

Оптимизационный подход направлен в первую очередь на распределение $C_{in_2}, i = \overline{1, I}, n_2 = \overline{1, N_2}$ между объектами по направлениям интегрального объема инвестиций C_2 , выделенного для реализации новой программы развития 2 с учетом достигнутого уровня по показателям $y_{j_1 ni}(T)$ и планируемого уровня $y_{j_2 ni}(T_1)$. Этот процесс принятия оптимальных управленческих решений будем называть процессом балансировки инвестиций. Мониторинг значений показателей новой программы развития за периоды $t_1 = \overline{1, T_1}, y_{j_2 ni}(t_1)$ позволяет оценивать динамику достижения значений $y_{j_2 ni}^0$. В случае если динамика не устраивает управляющий центр, требуется оптимальным образом скорректировать распределение $C_{in_2}, i = \overline{1, I}, n_2 = \overline{1, N_2}$ исходя из определенных экстремальных и граничных требований. Процесс принятия корректирующих оптимальных управленческих решений по аналогии с ребалансировкой инвестиционного портфеля [10] будем называть процессом ребалансировки.

Целью статьи является разработка оптимизационных моделей, обеспечивающих принятие решений при управлении объемами инвестиций в рамках программы развития многообъектной организационной системы.

Для достижения поставленной цели в работе решаются две задачи:

- формирование оптимизационных моделей принятия управленческих решений при балансировке инвестиций;
- формирование оптимизационной модели принятия управленческих решений при ребалансировке инвестиций.

Формирование оптимизационных моделей принятия управленческих решений при балансировке инвестиций

Процесс балансировки инвестиций для реализации программы 2 направлен на обеспечение следующих балансовых условий при распределении ресурсного обеспечения C_2 , выделенного управляющим центром на развитие $O_i, i = \overline{1, I}$ объектов по

$n_2 = \overline{1, N_2}$ направлениям с целью достижения показателями значений $y_{j_2ni}^0$ при заданном горизонте планирования $t_1 = \overline{1, T_1}$:

– между направлениями программы

$$\sum_{n_2=1}^{N_2} C_{2n} = C_2, \quad (1)$$

где C_{2n} – объем инвестиций для реализации n_2 -го направления программы 2;

– между объектами организационной системы

$$\sum_{i=1}^I C_{in_2} = C_{2n}; \quad (2)$$

– между мероприятиями программы 2, направленными на достижение показателями значений $y_{j_2ni}^0$

$$\sum_{j_2n=1}^{J_2n} C_{j_2ni} = C_{in_2}, \quad (3)$$

где C_{j_2ni} – объем инвестиций, позволяющий реализовать мероприятия, обеспечивающие развитие объекта по показателю j_2n за все периоды времени $t_1 = \overline{1, T_1}$;

– между временными периодами реализации программы 2 при заданном горизонте планирования

$$\sum_{t_1=1}^{T_1} C_{j_2ni}(t_1) = C_{j_2ni}, \quad (4)$$

где $C_{j_2ni}(t_1)$ – объем инвестиций, планируемый управляющим центром в каждый период времени t_1 , $t_1 = \overline{1, T_1}$ для реализации мероприятий, обеспечивающих заданный рост значений показателя y_{j_2ni} .

Оптимизационное моделирование процесса балансировки начнем с формирования экстремальных и граничных требований, обеспечивающих выполнение балансового условия (4). В качестве исходной информации используем ряд оценок ретроспективных данных и мнений экспертов:

– экспертная оценка потребности в инвестициях для достижения показателем y_{j_2ni} значения $y_{j_2ni}^0 - C_{j_2ni}^0$;

– прогностические оценки изменения показателей $j_2' = \overline{1, J_2'} \in \overline{1, J_2} \cap \overline{1, J_1}$ в рамках заданного горизонта планирования программы 2 $t_1 = \overline{1, T_1}$, полученные на основе машинного обучения нейросетевых моделей по ретроспективным данным мониторинга показателей $y_{j_2ni}(t)$, $t = \overline{1, T}$ [11]

$$\hat{y}_{j_2ni}'(t_1) = f(C_{j_2ni}'(t_1), t_1), \quad (5)$$

где $\hat{y}_{j_2ni}'(t_1)$ – прогностическая оценка значений показателей в периоды времени $t_1 = \overline{1, T_1}$, вычисленная с помощью нейросетевой модели $f(C_{j_2ni}'(t), t)$; прогностические экспертные оценки изменения показателей $j_2'' = \overline{1, J_2''}$ при условии $\overline{1, J_2'} \cup \overline{1, J_2''} = \overline{1, J_2}$ от значения $y_{j_2ni}''(T)$ до заданного значения $y_{j_2ni}'' = y_{j_2ni}''(T_1)$

$$\hat{y}_{j_2ni}''(t_1) = f(C_{j_2ni}''(t_1), t_1), \quad (6)$$

где $C_{j_2ni}''(t_1)$ – экспертные оценки набора дискретных значений, характеризующих объем инвестиций на мероприятия, которые обеспечивают рост показателей y_{j_2ni}'' в рамках программы 2

$$C_{j_2ni}^1(t_1) < C_{j_2ni}^2(t_1) < \dots < C_{j_2ni}^g(t_1) < \dots < C_{j_2ni}^G(t_1) = C_{j_2ni}^0; \quad (7)$$

– экспертные оценки набора дискретных значений, характеризующих объем инвестиций на мероприятия, которые обеспечивают рост показателей y_{j_2ni} в рамках программы 2

$$C_{j_2ni}^1(t_1) < C_{j_2ni}^2(t_1) < \dots < C_{j_2ni}^g(t_1) < \dots < C_{j_2ni}^G(t_1) = C_{j_2ni}^0. \quad (8)$$

С учетом (5)–(8) в качестве экстремального определим требование максимального роста значений каждого показателя y_{j_2ni} за периоды времени $t_1 = \overline{1, T_1}$:

$$\sum_{t_1=1}^{T_1} \hat{y}_{j_2ni}(C_{j_2ni}^g(t_1), t_1) \rightarrow \max, C_{j_2ni}^g(t_1), g = \overline{1, G}, t_1 = \overline{1, T_1}. \quad (9)$$

Граничные требования определяются балансовым условием (4) и наборами дискретных значений объема инвестиций (7), (8).

Объединяя экстремальные (9) и граничные требования, имеем следующую оптимизационную задачу:

$$\begin{aligned} \sum_{t_1=1}^{T_1} \hat{y}_{j_2ni}(C_{j_2ni}(t_1), t_1) &\rightarrow \max_{C_{j_2ni}(t_1), t_1 = \overline{1, T_1}}, \\ \sum_{t_1=1}^{T_1} C_{j_2ni}(t_1) &= C_{j_2ni}^0, \\ C_{j_2ni}(t_1) &= C_{j_2ni}^1(t_1), \dots, C_{j_2ni}^g(t_1), \dots, C_{j_2ni}^G(t_1), t_1 = \overline{1, T_1}. \end{aligned} \quad (10)$$

Решение задачи (10) включает выполнение ряда этапов [12]:

– переход к множеству одномерных задач оптимизации, эквивалентных (10) с введением дополнительных граничных условий

$$C_{j_2ni}^1 \leq C_{j_2ni}(t_1) \leq C_{j_2ni}',$$

где C_{j_2ni}' принимает значения $C_{j_2ni}^1, \dots, C_{j_2ni}^g, \dots, C_{j_2ni}^G$,

$$\begin{aligned} \varphi_1(C_{j_2ni}(t_1 = 1)) &= \max_{C_{j_2ni}^1 \leq C_{j_2ni}(t_1=1) \leq C_{j_2ni}'} [\hat{y}_{j_2ni}(C_{j_2ni}(t_1 = 1), t_1 = 1)], \\ \varphi_1(C_{j_2ni}(t_1 = 2)) &= \max_{C_{j_2ni}^1 \leq C_{j_2ni}(t_1=2) \leq C_{j_2ni}'} [\hat{y}_{j_2ni}(C_{j_2ni}(t_1 = 2), t_1 = 2) + \varphi_1(C_{j_2ni}' - C_{j_2ni}(t_1 = 2))], \\ &\vdots \\ \varphi_1(C_{j_2ni}(t_1 = T_1)) &= \max_{C_{j_2ni}^1 \leq C_{j_2ni}(t_1=T_1) \leq C_{j_2ni}'} [\hat{y}_{j_2ni}(C_{j_2ni}(t_1 = T_1), t_1 = T_1) + \varphi_{T_1-1}(C_{j_2ni}' - C_{j_2ni}(t_1 = T_1))]. \end{aligned} \quad (11)$$

– поиск оптимальных значений для каждой задачи оптимизации из (11) путем полного перебора значений C_{j_2ni}' на множестве дискретных значений $C_{j_2ni}^1, \dots, C_{j_2ni}^g, \dots, C_{j_2ni}^G$;

– формирование на основе полученных оптимальных значений множества оптимальных стратегий $C_{j_2ni}(t_1), t_1 = \overline{1, T_1}$;

– выбор наилучшей стратегии $C_{j_2ni}^*(t_1), t_1 = \overline{1, T_1}$ с привлечением коллектива экспертов [13];

– вычисление прогностических оценок значений показателей при реализации стратегии $C_{j_2ni}^*(t_1), t_1 = \overline{1, T_1}$

$$\hat{y}_{j_2ni}^* = \hat{y}_{j_2ni}(C_{j_2ni}^*(t_1), t_1), t_1 = \overline{1, T_1}. \quad (12)$$

Далее на основе балансового условия (3) определим потребность i -го объекта в инвестициях для реализации целей программы 2 по n -му направлению:

$$C_{in_2}^0 = \sum_{j_{2n}=1}^{J_{2n}} C_{j_{2n}i}^* \quad (13)$$

Определение значений (13) позволяет перейти к постановке оптимизационной задачи, связанной с выполнением балансовых условий (1), (2).

Отметим, что при экспертной оценке потребностей в инвестициях $C_{j_{2n}i}^0$ в большинстве случаев эти оценки являются завышенными [14], что приводит в конечном счете к невыполнению балансового условия (1) при известных значениях интегрального объема инвестиций C_2

$$\sum_{i=1}^I \sum_{n_2=1}^{N_2} C_{in_2}^0 > C_2. \quad (14)$$

При соотношении (14) распределение интегрального объема инвестиций, направленное на выполнение балансовых условий (1), (2), достигается за счет привлечения к n_2 -му направлению программы 2 выборочного числа объектов организационной системы $I_{n_2} = \overline{1, I_{n_2}}$.

В этом случае оптимизационное моделирование направлено на выбор значений альтернативных переменных

$$x_{in_2} = \begin{cases} 1, & \text{если целесообразно } i - \text{й объект инвестировать} \\ & \text{по } n_2 - \text{му направлению программы 2} \\ 0, & \text{в противоположном случае, } i = \overline{1, I}, n_2 = \overline{1, N_2} \end{cases} \quad (15)$$

в соответствии с экстремальным и граничными требованиями.

В качестве экстремального требования предлагается рассматривать максимизацию эффекта от влияния инвестиций по n_2 -му направлению на развитие i -го объекта

$$\sum_{i=1}^I \sum_{n_2=1}^{N_2} \alpha_{in_2} x_{in_2} \rightarrow \max, \quad (16)$$

где α_{in_2} – коэффициент значимости влияния инвестиций по n_2 -му направлению на развитие i -го объекта.

Коэффициенты значимости определяются с использованием экспертных оценок:

– значений объема инвестиций, прогнозируемых для развития i -го объекта по n_2 -му направлению программы 2 – $C_{in_2}^{np}$;

– значений термов лингвистической переменной <Допустимо изменить показатели развития i -го объекта в соответствии с требованиями за счет инвестирования n_2 -го направления программы 2>.

Оценка $C_{in_2}^{np}$ используется для вычисления относительных значений объемов инвестирования

$$\hat{C}_{in_2} = \frac{C_{in_2}^{np}}{C_{in_2}^0}.$$

Экспертные оценки двух термов T_1, T_2 лингвистической переменной осуществляется по следующим градациям:

- 1) T_1 – увеличить, уменьшить, безразлично;
- 2) T_2 – сильно, существенно, несколько, немного, мало.

Указанные оценки используются для вычисления значений функции принадлежности [15]

$$r_{in_2}(T_1, T_2), i = \overline{1, I}, n_2 = \overline{1, N_2}. \quad (17)$$

На основании значений (17) определим коэффициенты значимости

$$\alpha_{in_2} = \frac{r_{in_2}(T_1, T_2)}{\sum_{i=1}^I \sum_{n_2=1}^{N_2} r_{in_2}(T_1, T_2)}.$$

Объединим экстремальное требование (16) с граничными, направленными на учет балансовых условий (1), (2) и бинарности значений альтернативных переменных (15), в оптимизационную модель

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^I \sum_{n_2=1}^{N_2} \alpha_{in_2} x_{in_2} &\rightarrow \max, \\ \sum_{i=1}^I \sum_{n_2=1}^{N_2} C_{in_2}^0 x_{in_2} &\leq C, \\ x_{in_2} &= \begin{cases} 1, \\ 0, \end{cases} i = \overline{1, I}, n_2 = \overline{1, N_2}. \end{aligned} \quad (18)$$

Решение задачи оптимизации (18) осуществляется с использованием схемы итерационного рандомизированного поиска [15], что позволяет сформировать множества объектов по каждому направлению $I_{n_2} = \overline{1, I_{n_2}}$.

Таким образом, последовательное решение оптимизационных задач (10), (18) позволяет определить оптимальную балансировку инвестиций для реализации программы развития многообъектной организационной системы.

Формирование оптимизационных моделей процесса ребалансировки инвестиций

Оптимизационное моделирование процесса ребалансировки свяжем с необходимостью корректировки распределения инвестиций $C_{j_2ni}^*(t_1), t_1 = \overline{1, T_1}$ таким образом, чтобы выполнить балансовое условие (4) и обеспечить минимальное отклонение мониторируемого показателя $y_{j_2ni}^m(t_1)$ в сторону уменьшения $y_{j_2ni}^*(t_1)$

$$\Delta y_{j_2ni}(t_1) = y_{j_2ni}^*(t_1) - y_{j_2ni}^m(t_1) > 0. \quad (19)$$

При этом рассмотрим два способа ребалансировки в случае выявления отклонения (19):

– в заданный момент времени $t_1 = \tau$

$$\Delta y_{j_2ni}(t_1 = \tau) = y_{j_2ni}^*(t_1 = \tau) - y_{j_2ni}^m(t_1 = \tau); \quad (20)$$

– при превышении порогового значения

$$\Delta y_{j_2ni}(t_1) \geq \delta, \quad (21)$$

где $\delta > 0$ – пороговое значение величины отклонения (19), установленное управляющим центром. Пусть пороговое значение превышено в момент $t_1 = \tau_1$, то есть

$$\Delta y_{j_2ni}(t_1 = \tau_1) = y_{j_2ni}^*(t_1 = \tau_1) - y_{j_2ni}^m(t_1 = \tau_1) \geq \delta. \quad (22)$$

В этих случаях оптимизационные модели аналогичны (10), но для периодов времени $t_1 > \tau$ или $t_1 > \tau_1$. При этом изменяются экстремальное и граничное требования. Перераспределить инвестиции $C_{j_2ni}^*(t_1)$ надо таким образом, чтобы минимизировать отклонение (20) или (22). Соответственно, граничное требование при отклонении (20)

$$C_{j_2ni}^\tau(t_1) = C_{j_2ni}^0(t_1) - \sum_{t_1=1}^{\tau} C_{j_2ni}^*(t_1)$$

при отклонении (21)

$$C_{j_2ni}^{\tau_1}(t_1) = C_{j_2ni}^0(t_1) - \sum_{t_1=1}^{\tau_1} C_{j_2ni}^*(t_1).$$

В результате оптимизационная модель процесса ребалансировки в случае выявления отклонения в заданный момент времени $t_1 = \tau$ имеет вид

$$\begin{aligned} \sum_{t_1=\tau+1}^{T_1} [y_{j_2ni}^*(t_1) - \hat{y}_{j_2ni}^\tau(C_{j_2ni}(t_1), t_1)] &\rightarrow \min_{C_{j_2ni}(t_1), t_1=\tau+1, T_1} \underline{\quad}, \\ \sum_{t_1=\tau+1}^{T_1} C_{j_2ni}(t_1) &= C_{j_2ni}^\tau, \\ C_{j_2ni}(t_1) &= C_{j_2ni}^1(t_1), \dots, C_{j_2ni}^g(t_1), \dots, C_{j_2ni}^G(t_1), t_1 = \overline{\tau + 1, T_1}, \end{aligned} \quad (23)$$

где прогностические оценки $\hat{y}_{j_2ni}^\tau$ определяются аналогично (5), (6) с дополнительным включением в обучающую выборку для построения нейросетевой модели значений $y_{j_2ni}(t), t = \overline{1, T + \tau}$.

В случае превышения порогового значения по условию (21) имеем

$$\begin{aligned} \sum_{t_1=\tau_1+1}^{T_1} [y_{j_2ni}^*(t_1) - \hat{y}_{j_2ni}^{\tau_1}(C_{j_2ni}(t_1), t_1)] &\rightarrow \min_{C_{j_2ni}(t_1), t_1=\tau_1+1, T_1} \underline{\quad}, \\ \sum_{t_1=\tau_1+1}^{T_1} C_{j_2ni}(t_1) &= C_{j_2ni}^{\tau_1}, \\ C_{j_2ni}(t_1) &= C_{j_2ni}^1(t_1), \dots, C_{j_2ni}^g(t_1), \dots, C_{j_2ni}^G(t_1), t_1 = \overline{\tau_1 + 1, T_1}, \end{aligned} \quad (24)$$

где прогностические оценки $\hat{y}_{j_2ni}^{\tau_1}$ определяются также аналогично (5), (6) с дополнительным включением в обучающую выборку для построения нейросетевой модели значений $y_{j_2ni}(t), t = \overline{1, T + \tau_1}$.

За счет перехода от задач оптимизации (23), (24) к множеству одномерных задач оптимизации (11) выбираем скорректированные значения инвестиций

$$C_{j_2ni}^\tau(t_1), t_1 = \overline{\tau + 1, T_1}$$

или

$$C_{j_2ni}^{\tau_1}(t_1), t_1 = \overline{\tau_1 + 1, T_1}$$

и, соответственно, прогностических оценок

$$\begin{aligned} \hat{y}_{j_2ni}^\tau(t_1) &= \hat{y}_{j_2ni}^\tau(C_{j_2ni}^\tau(t_1), t_1), t_1 = \overline{\tau + 1, T_1}, \\ \hat{y}_{j_2ni}^{\tau_1}(t_1) &= \hat{y}_{j_2ni}^{\tau_1}(C_{j_2ni}^{\tau_1}(t_1), t_1), t_1 = \overline{\tau_1 + 1, T_1}. \end{aligned}$$

Таким образом, использование оптимизационных моделей (23), (24) позволяет провести ребалансировку инвестиций при реализации программы развития как в случае выявления отклонений от оптимальной стратегии в заданный момент времени, так и в случае превышения заданного порога отклонения.

Заключение

Повышение эффективности управления многообъектной организационной системой целесообразно осуществлять в рамках оптимизационного подхода.

Применение последнего связано с формированием оптимизационных моделей процессов балансировки и ребалансировки инвестиций. Оптимизационное моделирование базируется на многоуровневой системе балансовых условий. Нижний уровень связан с обеспечением требований управляющего центра к росту значений показателей эффективности в периоды времени, обусловленные заданным горизонтом развития объектов организационной системы. Оптимизация распределения объема инвестиций между временными периодами определяет построение оптимизационных моделей, обеспечивающих наилучший вариант распределения интегрального объема инвестиционного ресурса. Для постановки задачи оптимизации на нижнем уровне балансовых условий требуется построение прогностических моделей, учитывающих зависимость показателей эффективности развития от величины инвестиций и времени. Часть из них формируется на основе ретроспективной мониторинговой информации с использованием нейросетевого моделирования, другая часть – на основе экспертных оценок. При постановке задачи оптимизации на верхнем уровне опираются на экспертное оценивание значимости направления программы развития для каждого объекта.

Оптимизационное моделирование процесса ребалансировки инвестиций направлено на обеспечение минимальных отклонений показателей эффективности от оптимальной стратегии, полученной на этапе балансировки. При этом приемлемы два способа ребалансировки в случае выявления отклонений по данным мониторинга: в заданный момент времени, при превышении отклонения порогового значения.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Львович Я.Е., Львович И.Я., Чопоров О.Н. [и др.]: под общ. ред. Львовича Я.Е. *Оптимизация цифрового управления в организационных системах: коллективная монография*. Воронеж: ИПЦ “Научная книга”; 2021. 191 с.
2. Гурин Л.С., Дымарский Я.Е., Меркулов А.Д. Задачи и методы оптимального распределения ресурсов. М.: Сов. радио; 1968. 463 с.
3. 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(12):400–406.
4. Львович Я.Е., Сумин В.Н., Швиндт А.Н. Оптимизация последовательной редукции вариантов качественного функционирования сетевых объектов на основе интеграции численных процедур и экспертного оценивания. *Вестник Воронежского института ФСИИ России*. 2018;4:82–88.
5. Львович Я.Е., Сапожников Г.П. Интеллектуализация управления ресурсоэффективностью некоммерческой образовательной организации с использованием мониторинго-рейтинговой информации. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2017;5(4). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=618>. DOI: 10.26102/2310-6018/2019.25.2.023.
6. Львович Я.Е., Михель А.А. Оптимизационное моделирование ресурсоэффективности системы рейтингового оценивания. *Экономика и менеджмент систем управления*. 2014;1.1(11):144–149.
7. Львович К.И. Управление эффективностью деятельности персонала в условиях цифровой трансформации организационных систем. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2020;8(3). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/article?id=804>. DOI: 10.26102/2310-6018/2020.30.3.039.
8. Борзова А.С., Иванов Д.В. Оптимизационное моделирование инвестиционного процесса развития отраслевой организационной системы гражданской авиации.

- Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2021;9(1). URL: <https://moitvivr.ru/ru/journal/pdf?id=940>. DOI: 10.26102/2310-6018/2021.32.1.030.
9. Руткаускас Т.К. [и др.]: под общ. ред. Руткаускас Т.К. *Инвестиции и инвестиционная деятельность*. Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та; 2019. 316 с.
 10. Калмыкова А.А. Условия и факторы формирования и развития современного рынка инвестиций. *Транспортное дело России*. 2012;5:23–24.
 11. Львович И.Я., Львович Я.Е., Фролов В.Н. *Информационные технологии моделирования и оптимизации: краткая теория и приложения*. Воронеж: ИПЦ “Научная книга”; 2016. 444 с.
 12. Крючин О.В. Прогнозирование временных рядов с помощью искусственных нейронных сетей и регрессивных моделей на примере котировок валютных пар. *Электронный научный журнал “Исследования в России”*. 2010;30:354–362.
 13. Батищев Д.И. *Принятие оптимальных решений в экономических исследованиях*. Горький: Изд-во ГГУ; 1982. 108 с.
 14. Львович Я.Е., Львович И.Я. *Принятие решений в экспертно-виртуальной среде*. Воронеж: ИПЦ “Научная книга”; 2010. 140 с.
 15. Баркалов С.А., Буркова И.В., Колпачев В.Н., Потапенко А.М. *Модели и методы распределения ресурсов в управлении проектами*. М.: Институт проблем управления; 2004. 85 с.

REFERENCES

1. Lvovich Y.E., Lvovich I.Y., Choporov O.N., et al. *Optimization of Digital Management in Organizational Systems: A Collective Monograph*. Voronezh, IPC Nauchnaya kniga, 2021. 191 p. (In Russ.).
2. Gurin L.S., Dymarsky Y.E., Merkulov A.D. *Goals and methods of optimal resource allocation*. Moscow, Sov Radio, 1968. 463 p. (In Russ.).
3. Lvovich Y.E., Mikhel A.A. Resource management in the system of higher education based on the integration of monitoring and expert information. *Ekonomika i menedzhment sistem upravleniya = Economics and Management of Management Systems*. 2014;2.3(12):400–406. (In Russ.).
4. Lvovich Y.E., Sumin V.N., Shvindt A.N. Optimization of sequential reduction of variants of qualitative functioning of network objects on the basis of integration of numerical procedures and expert estimation. *Vestnik Voronezhskogo instituta FSIN Rossii = Bulletin of Voronezh Institute of Federal Penitentiary Service of Russia*. 2018;4:82–88. (In Russ.).
5. Lvovich Y.E., Sapozhnikov G.P. Intellectualization of resource-efficiency management of nonprofit educational organization using monitoring and rating information. *Modelirovanie, optimizatsiya i informatsionnye tekhnologii = Modeling, Optimization and Information Technology*. 2017;5(4). URL: <https://moitvivr.ru/ru/journal/pdf?id=618>. DOI: 10.26102/2310-6018/2019.25.2.023. (In Russ.).
6. Lvovich Y.E., Mikhel A.A. Optimization Modeling of Resource Efficiency of Rating System. *Ekonomika i menedzhment sistem upravleniya = Economics and Management of Control Systems*. 2014;1.1(11):144–149. (In Russ.).
7. Lvovich K.I. Personnel performance management under conditions of digital transformation of organizational systems. *Modelirovanie, optimizatsiya i informatsionnye tekhnologii = Modeling, Optimization and Information Technologies*. 2020;8(3). URL: <https://moitvivr.ru/ru/journal/article?id=804>. DOI: 10.26102/2310-6018/2020.30.3.039. (In Russ.).
8. Borzova A.S., Ivanov D.V. Optimization modeling of the investment process of development of the sectoral organizational system of civil aviation. *Modelirovanie,*

- optimizatsiya i informatsionnye tekhnologii = Modeling, Optimization and Information Technology*. 2021;9(1). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=940>. DOI: 10.26102/2310-6018/2021.32.1.030. (In Russ.).
9. Rutkauskas T.K. (ed.) *Investments and investment activities*. Yekaterinburg, Publishing house of the Ural University; 2019. 316 p. (In Russ.).
 10. Kalmykova A.A. Conditions and factors of formation and development of the modern market of investments. *Transport business of Russia*. 2012;5:23–24. (In Russ.).
 11. Lvovich I.Y., Lvovich Y.E., Frolov V.N. *Information technologies of modeling and optimization: brief theory and applications*. Voronezh, IPC Nauchnaya kniga; 2016. 444 p. (In Russ.).
 12. Kruchin O.V. Forecasting of time series with artificial neural networks and regression models by the example of currency pair quotes. *Elektronnyi nauchnyi zhurnal "Issledovaniya v Rossii" = Electronic scientific journal "Research in Russia"*. 2010;30:354–362. (In Russ.).
 13. Batischev D.I. *Making Optimal Decisions in Economic Research*. Bitter, Publishing house of GSU; 1982. 108 p. (In Russ.).
 14. Lvovich Y.E., Lvovich I.Y. *Decision-making in the expert-virtual environment*. Voronezh, IPC Nauchnaya kniga; 2010. 140 p. (In Russ.).
 15. Barkalov S.A., Burkova I.V., Kolpachev V.N., Potapenko A.M. *Models and Methods of Resource Allocation in Project Management*. Moscow, Institute for Management Problems; 2004. 85 p. (In Russ.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Бухольцев Иван Михайлович, аспирант,
Воронежский институт высоких технологий,
Воронеж, Российская Федерация.
e-mail: ksen.me@inbox.ru

Ivan M. Bukholtsev, Postgraduate Student,
Voronezh Institute of High Technologies,
Voronezh, the Russian Federation.

Львович Яков Евсеевич, доктор
технических наук, профессор, президент
ВИВТ, Воронеж, Российская Федерация.
e-mail: office@vvt.ru

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

*Статья поступила в редакцию 26.06.2023; одобрена после рецензирования 22.02.2024;
принята к публикации 28.02.2024.*

*The article was submitted 26.06.2023; approved after reviewing 22.02.2024;
accepted for publication 28.02.2024.*