

Я.Е. Львович, Н.А. Рындин, Ю.С. Сахаров

ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ
РАЗВИТИЯ ЦИФРОВОЙ СРЕДЫ УПРАВЛЕНИЯ
В ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ

В условиях интенсивной цифровизации всех сфер общества происходит интеграция деятельности организационных систем с цифровой средой управления. Для этих целей выделяется адресное ресурсное обеспечение. Актуальной становится задача оптимального распределения этого ресурса. Рассматривается применение оптимизационного подхода при распределении ресурсного обеспечения по развитию цифровой среды управления. При этом управляющий центр организационной системы направляет деятельность на достижение заданного уровня показателей эффективности. Ресурсная поддержка выделяется на компоненты цифровой среды, которые в наибольшей степени способствуют решению этой задачи. Для реализации оптимизационного подхода сформирован комплекс формализованных моделей принятия оптимизационных решений в виде задач многоальтернативной оптимизации и линейного программирования. Алгоритмизация оптимального распределения ресурсного обеспечения за период развития позволяет интегрировать в цифровую среду управления наиболее значимые компоненты для поддержки заданного уровня показателей эффективности и осуществить ресурсную поддержку в определенные временные интервалы мониторинга и принятия решений.

Ключевые слова: цифровая среда, управление, ресурсное обеспечение, организационные системы, оптимизация.

Ya.E. Lvovich, N.A. Ryndin, Yu.S. Sakharov

OPTIMIZATION OF THE DISTRIBUTION OF RESOURCE PROVISION
FOR THE DEVELOPMENT OF A DIGITAL MANAGEMENT
ENVIRONMENT IN ORGANIZATIONAL SYSTEMS

In the context of intensive digitalization of all spheres of society, the activities of organizational systems are integrated with the digital environment for their management. For these purposes, targeted resource support is allocated. The problem of optimal distribution of this resource is becoming urgent. The article discusses the use of an optimization approach in the distribution of resource provision for the development of a digital management environment. At the same time, the control center of the organizational system directs activities to achieve a given level of performance indicators. Resource support is allocated to those components of the digital environment that are most conducive to solving this problem. To implement the optimization approach, a complex of formalized models for making optimization decisions has been formed in the form of multi-alternative optimization and linear programming problems. Algorithmization of the optimal distribution of resource provision over the development period allows integrating the most significant components into the digital management environment to maintain a given level of performance indicators and provide resource support at certain time intervals for monitoring and decision-making.

Keywords: digital environment, management, resource provision, organizational systems, optimization.

Львович Яков Евсеевич

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой систем автоматизированного проектирования и информационных систем. Воронежский государственный технический университет, город Воронеж. Сфера научных интересов: моделирование и оптимизация в организационных системах. Автор более 700 опубликованных научных работ.

Электронный адрес: sapris@vorstu.ru

Рындин Никита Александрович

кандидат технических наук, доцент кафедры систем автоматизированного проектирования и информационных систем. Воронежский государственный технический университет, город Воронеж. Сфера научных интересов: моделирование и оптимизация в организационных системах. Автор более 20 опубликованных научных работ.

Электронный адрес: nikita.ryndin@gmail.com

Сахаров Юрий Серафимович

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой проектирования электроники для установок «Мегасайенс». Университет «Дубна», город Дубна Московской области. Сфера научных интересов: моделирование и оптимизация в организационных системах. Автор более 200 опубликованных научных работ.

Электронный адрес: persona@uni-dubna.ru

Вводные замечания

Ускорение процесса цифровизации организационных систем приводит к тому, что эффективность принятия управленческих решений существенным образом зависит от возможностей цифровой среды управления, которая объединяет технические и программные средства в единый комплекс. Основное назначение такого комплекса состоит в обеспечении взаимодействия с управляющим центром при определении управленческих действий в зависимости от соответствия значения показателей эффективности организационной системы мониторируемых за определенные интервалы установленным требованиям [1–3].

Учитывая эволюционный характер цифровой трансформации в организационных системах [4; 5], складывается ситуация, когда для перехода от одного этапа к следующему требуется стадия развития системы поддержки управленческих решений по двум причинам:

- происходит снижение функциональности эксплуатируемых компонентов ниже критического уровня;
- возникают новые задачи управления, требующие включения в цифровую среду соответствующих компонентов.

Для реализации развития цифровой среды управления в организационных системах управляющий центр привлекает дополнительное ресурсное обеспечение и направляет его

- для интеграции новых компонентов;
- замены эксплуатируемых компонентов с идентичной функциональностью, если она не поддерживается новыми компонентами.

Целью работы является формирование моделей и алгоритмов оптимизации распределения ресурсного обеспечения развития цифровой среду управления в организационных системах.

Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

- оптимизационное моделирование процесса управления распределением ресурсного обеспечения;
- алгоритмизация принятия управленческих решений при распределении ресурсного обеспечения.

Оптимизационное моделирование процесса управления распределением ресурсного обеспечения

Стадию развития цифровой среды управления в организационных системах охарактеризуем следующими множествами и величинами:

$g_1 = \overline{1, G_1}$ – нумерационное множество новых компонентов, интегрируемые в цифровую систему управления;

$g_2 = \overline{1, G_2}$ – нумерационное множество эксплуатируемых компонентов, подлежащих замене в связи со снижением функциональности ниже критического уровня;

U^p – интегральный ресурс, выделенный управляющим центром на развитие цифровой среды управления на период времени T_1 ;

$t_1 = \overline{1, T_1}$ – нумерационное множество временных интервалов мониторинга и принятия решений управляющим центром;

$U_{g_1}^p$ – объем ресурсного обеспечения, необходимый для интеграции g_1 -го компонента за период времени T_1 .

$U_{g_1}^p(t_1)$ – объем ресурсного обеспечения, выделяемый на временном интервале t_1 ;

$U_{g_2}^p$ – объем ресурсного обеспечения, необходимый для замены g_2 -го компонента за период времени T_1 , если его функциональность не поддерживается компонентами $g_1 = \overline{1, G_1}$.

Распределение ресурсного обеспечения осуществляется поэтапно.

1. Определяется гарантированный ресурс на период времени T_1 для интеграции новых компонентов $g_1 = \overline{1, G_1}$:

$$U^{p,c} = U^p - \sum_{g_2=1}^{G_2} U_{g_2}^p.$$

2. Оценивается экспертным путем степень влияния g_1 -го компонента на достижение показателей y_{j_1} уровня $y_{j_1}^\circ$, заданного управляющим центром, где $j_1 = \overline{1, J_1}$ – нумерационное множество показателей эффективности организационной системы, по которым планируется реализация процесса в период времени T_1 .

С этой целью используются экспертные оценки на множестве термов (τ_1, τ_2) лингвистической переменной <допустимо изменить значение показателя y_{j_1} до заданного уровня при использовании y_1 -го компонента>:

$$U_{g_1}^p = \begin{cases} U_{g_1}^p, & \text{если } x_{g_1}^* = 1, \\ 0, & \text{если } x_{g_1}^* = 0. \end{cases} \quad (4)$$

5. Формируется оптимизационная модель распределения ресурсного обеспечения между временными интервалами $t_1 = \overline{1, T_1}$ [9]:

$$\begin{aligned} \sum_{j_1=1}^{J_1} \alpha_{j_1} \sum_{g_1=1}^{G_1} a_{g_1 j_1} (t_1) U_{g_1} (t_1) &\rightarrow \max, t_1 = \overline{1, T_1}, \\ \sum_{t_1=1}^{T_1} U_{g_1} (t_1) &\leq U_{g_1}^p, g_1 = \overline{1, G_1}, \\ U_{g_1} (t_1) &\geq 0, g_1 = \overline{1, G_1}, \end{aligned}$$

где $g_1 = \overline{1, G_1}$ – нумерационное множество компонентов, принадлежащих множеству $g_1 = \overline{1, G_1}$, для которых $x_{g_1}^* = 1$; значения $a_{g_1 j_1}$ определяются аналогично (1) на множестве $g_1 = \overline{1, G_1}$.

Алгоритмизация принятия управленческих решений при распределении ресурсного обеспечения

Для оптимального распределения ресурсного обеспечения цифровой среды управления в организационных системах предлагается реализация следующей последовательности алгоритмических модулей.

1. В качестве алгоритма решения оптимизационной задачи (2) для определенного показателя эффективности организационной системы y_{j_1} целесообразно использовать алгоритм многоальтернативной оптимизации, основанный на рандомизированном поиске в пространстве вероятностных характеристик оптимальных переменных x_{g_1} [7].

2. Алгоритм перехода к эквивалентной задаче оптимизации представляет собой адаптивный алгоритм поиска значений весовых коэффициентов, удовлетворяющих экспертной оценке значимости задач (2) в достижении показателем y_{j_1} заданного уровня $y_{j_1}^0$.

С этой целью нумерационное множество показателей $j_1 = \overline{1, J_1}$ заменяется на дискретную случайную величину \tilde{j}_1 , принимающую значения $\overline{1, J_1}$ с вероятностями P_{j_1} , $\sum_{j_1=1}^{J_1} P_{j_1} = 1$. Процесс поиска значения α_{j_1} итерационный. На первой итерации $k=1$ принимается равномерное распределение дискретной случайной величины j_1 :

$$P_{j_1} = \frac{1}{J_1}, j_1 = \overline{1, J_1}.$$

Далее генерируется значение случайного числа в соответствии с распределением $P_{j_1}, j_1 = \overline{1, J_1}$, $\sum_{j_1=1}^{J_1} P_{j_1} = 1$ [10]. Пусть это значение j_1 . С использованием алгоритма п. 1 решается задача

$$\sum_{g_1=1}^{G_1} a_{g_1 j_1} x_{g_1} \rightarrow \max,$$

$$\sum_{g_1=1}^{G_1} U_{g_1}^P x_{g_1} \leq U^{P,\varepsilon},$$

$$x_{g_1} = \begin{cases} 1, \\ 0. \end{cases}$$

При полученном решении $x_{g_1}^*$ определяется для каждой задачи (2) значение $\sum_{g_1=1}^{G_1} a_{g_1 j_1} x_{g_1}^*, j_1 = \overline{1, G_1}$.

Эксперт оценивает, какое из них, по его мнению, не удовлетворяет в наибольшей степени. Пусть это значение j_1'' . Устанавливается двойственная оценка мнения эксперта

$$A_{j_1} = \begin{cases} 1, & \text{если } j_1 = j_1'', \\ -1, & \text{если } j_1 \neq j_1'', j_1 = \overline{1, G_1}, \end{cases}$$

которая используется для коррекции распределения P_{j_1} на $(k+1)$ -й итерации

$$P_{j_1}^{k+1} = \frac{P_{j_1}^k + \varepsilon \varkappa(A_{j_1}^k)}{1 + \varepsilon}, j_1 = \overline{1, J_1},$$

где ε – величина шага, устанавливаемая экспертом на первой итерации;

$$\varkappa(A) = \begin{cases} 1, & A > 0, \\ 0, & A < 0. \end{cases}$$

Останов итерационного процесса осуществляется на k -й итерации, если на четырех предыдущих двойственная оценка A_{j_1} не меняется.

Тогда определяются значения весовых коэффициентов

$$x_{j_1} = P_{j_1}^k, j_1 = \overline{1, J_1}$$

и решается эквивалентная задача 3 с использованием алгоритма п. 1. Полученное решение позволяет с учетом (4) установить оптимальное распределение ресурсного обеспечения развития цифровой среды управления $U^{P,\varepsilon}$ на период T_1 .

3. Алгоритмы распределения ресурсного обеспечения между временными интервалами $t_1 = \overline{1, T_1}$ в соответствии с оптимизационной моделью (5, использует решение (4) как конечное условие T_1 -го временного интервала. Далее формируется задача (5) на последнем T_1 -м интервале и на всех $(T_1 - 1)$ интервалах, начиная с первого, с учетом конечных условий T_1 -го интервала:

$$\sum_{j_1=1}^{J_1} x_{j_1} \sum_{g_1=1}^{G_1} a_{g_1 j_1}(T_1) [U_{g_1} \cdot (\overline{1, T_1 - 1} + U_{g_1} \cdot (T_1))] \rightarrow \max,$$

$$U_{g_1} \cdot (\overline{1, T_1 - 1}) + U_{g_1} \cdot (T_1) \leq U_{g_1}^P, g_1 = \overline{1, G_1}, \tag{6}$$

$$U_{g_1}'(T_1) \geq 0, U_{g_1}'(\overline{1, T_1 - 1}) \geq 0, g_1 = \overline{1, G_1}.$$

Задача (6) является задачей линейного программирования [10]. В результате получаем: – оптимальное решение для интервала T_1

$$U_{g_1}^*(T_1), g_1 = \overline{1, G_1}; \tag{7}$$

– оптимальное решение для всех $(T_1 - 1)$ интервалов

$$U_{g_1}^* \left(\overline{1, T_1 - 1} \right), g_1' = \overline{1, G_1'}$$

С целью получения оптимальных решений для следующего интервала $(T_1 - 1)$

$$U_{g_1}^* (T_1 - 1), g_1' = \overline{1, G_1'} \tag{8}$$

и всех $(T_1 - 2)$ интервалов

$$U_{g_1}^* \left(\overline{1, T_1 - 2} \right), g_1' = \overline{1, G_1'}$$

формируется оптимизационная модель, аналогичная (6),

$$\begin{aligned} \sum_{j_1=1}^{J_1} \alpha_{j_1} \sum_{g_1=1}^{G_1} a_{g_1/j_1} (T_1 - 1) [U_{g_1} \left(\overline{1, T_1 - 2} \right) + U_{g_1} (T_1 - 1)] \rightarrow \max, \\ U_{g_1} \left(\overline{1, T_1 - 2} \right) + U_{g_1} (T_1 - 1) \leq U_{g_1}^P - U_{g_1}^* (T_1), g_1' = \overline{1, G_1'}, \\ U_{g_1} (T_1 - 1) \geq 0, U_{g_1}^* \left(\overline{1, T_1 - 2} \right) \geq 0, g_1' = \overline{1, G_1'}. \end{aligned} \tag{9}$$

Продолжая последовательно формирование и решение задач (6), (9), ..., получаем для $t_1 = 2$

$$\begin{aligned} \sum_{j_1=1}^{J_1} \alpha_{j_1} \sum_{g_1=1}^{G_1} a_{g_1/j_1} (2) [U_{g_1} (1) + U_{g_1} (2)] \rightarrow \max, \\ U_{g_1} (1) + U_{g_1} (2) \leq U_{g_1}^P - \sum_{t_1=3}^{T_1} U_{g_1}^* (t_1), g_1' = \overline{1, G_1'}, \\ U_{g_1} (1) \geq 0, U_{g_1} (2) \geq 0, g_1' = \overline{1, G_1'} \end{aligned} \tag{10}$$

оптимальное решение

$$U_{g_1}^* (1), U_{g_1}^* (2), g_1' = \overline{1, G_1'}$$

Совокупность решений (6), (9), ..., (10) представляет собой оптимальное распределение ресурсного обеспечения развития цифровой среды управления в организационных системах за период T_1 .

Заключение

Необходимость развития цифровой среды управления, интегрированной в деятельность организационной системы, требует для этих целей привлечение управляющим центром дополнительного ресурсного обеспечения и его распределения как между компонентами входящими в эту среду, так и по временным интервалам, определяющим дискретные моменты времени мониторинга показателей эффективности и принятия решений. Ограниченность выделяемого ресурса и потребность использовать компоненты, в наибольшей степени влияющие на достижение показателями заданного уровня, диктует оптимизационный характер принятия управленческих решений при распределении ресурсного обеспечения. Разработанный комплекс оптимизационных моделей позволяет в полном объеме формализовать содержательную постановку на множествах альтернативных и распределенных по временным интервалам переменным. Последовательность алгоритмических модулей, ориентированных на структуру оптимизационных моделей, дает

возможность определить оптимальное распределение ресурсного обеспечения развития цифровой среды управления в организационных системах.

Литература

1. Батищев Д.И., Львович Я.Е., Фролов В.Н. Оптимизация в САПР. М.: Высшая школа, 1997. 421 с.
2. Гретченко А.И., Горохова И.В. Цифровая платформа: новая бизнес-модель в экономике России // Вестник Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова. 2019. № 1 (103). С. 62–72.
3. Донец А.М., Львович Я.Е., Фролов В.Н. Автоматизированный анализ и оптимизация конструкций и технологий РЭА. М.: Радио и связь, 1983. 104 с.
4. Львович Я.Е. Многоальтернативная оптимизация: теория и приложения. Воронеж: Кварта, 2006. 426 с.
5. Львович Я.Е., Львович И.Я. Принятие решений в экспертно-виртуальной среде: монография. Воронеж: Научная книга, 2010. 140 с.
6. Львович И.Я., Львович Я.Е., Фролов В.Н. Информационные технологии моделирования и оптимизации: краткая теория и приложения: монография. Воронеж: Научная книга, 2016. 444 с.
7. Львович Я.Е., Львович И.Я., Чопоров О.Н. Оптимизация цифрового управления в организационных системах: монография / под общ. ред. Я.Е. Львовича. Воронеж: Научная книга, 2021. 191 с.
8. Масленников В.В., Ляндау Ю.В., Калинина И.А. Формирование системы цифрового управления организацией // Вестник Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова. 2019. № 6. С. 116–123.
9. Мрочковский Н.С., Ляндау Ю.В., Горохова И.В. Основные тенденции цифровой трансформации бизнеса // Вестник Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова. 2019. № 1 (103). С. 62–72.
10. Формирование цифровой экономики и промышленности: новые вызовы / под ред. А.В. Бабкина. СПб.: Изд-во Политехнического университета, 2018. 660 с.

References

1. Batishchev D.I., L'vovich Ya.E., Frolov V.N. (1997) *Optimizaciya v SAPR* [CAD Optimization]. Moscow, Vysshaya shkola Publishing, 1997, 421 p. (in Russian).
2. Gretchenko A.I., Gorohova I.V. (2019) *Cifrovaya platforma: novaya biznes-model' v ekonomike Rossii* [Digital platform: a new business model in the Russian economy]. *Vestnik Rossijskogo ekonomicheskogo universiteta imeni G.V. Plekhanova*, no. 1 (103), pp. 62–72 (in Russian).
3. Donec A.M., L'vovich Ya.E., Frolov V.N. (1983) *Avtomatizirovannyj analiz i optimizaciya konstrukcij i tekhnologij REA* [Automated analysis and optimization of designs and technologies of electronic equipment]. Moscow, Radio i svyaz' Publishing, 104 p. (in Russian).
4. L'vovich Ya.E. (2006) *Mnogoal'ternativnaya optimizaciya: teoriya i prilozheniya* [Multiple optimization: theory and applications]. Voronezh, Kvarata Publishing, 426 p. (in Russian).

5. L'vovich Ya.E., L'vovich I.Ya. (2010) *Prinyatie reshenij v ekspertno-virtual'noj srede* [Decision making in expert-virtual environment]. Voronezh, Nauchnaya kniga Publishing, 140 p. (in Russian).
6. L'vovich I.Ya., L'vovich Ya.E., Frolov V.N. (2016) *Informacionnye tekhnologii modelirovaniya i optimizacii: kratkaya teoriya i prilozheniya: monografiya* [Information Technologies for Modeling and Optimization: A Brief Theory and Applications: Monograph.] Voronezh, Nauchnaya kniga Publishing, 444 p. (in Russian).
7. L'vovich Ya E., L'vovich I.Ya., Choporov O.N. (2021) *Optimizaciya cifrovogo upravleniya v organizacionnyh sistemah: kollektivnaya monografiya* [Optimizing digital governance in organizational systems: a collective monograph]. Voronezh, Nauchnaya kniga Publishing, 191 p. (in Russian).
8. Maslennikov V.V., Lyandau Yu.V., Kalinina I.A. (2019) *Formirovanie sistemy cifrovogo upravleniya organizaciej* [Formation of a digital management system for an organization]. *Vestnik Rossijskogo ekonomicheskogo universiteta imeni G.V. Plekhanova*, no. 6, pp. 116–123 (in Russian).
9. Mrochkovskij N.S., Lyandau Yu.V., Gorohova I.V. (2019) *Osnovnye tendencii cifrovoj transformacii biznesa* [Key trends in digital business transformation] *Vestnik Rossijskogo ekonomicheskogo universiteta imeni G.V. Plekhanova*, no. 1 (103), pp. 62–72 (in Russian).
10. Babkina A.V. (ed.) (2018) *Formirovanie cifrovoj ekonomiki i promyshlennosti: novye vyzovy* [Formation of the digital economy and industry: new challenges]. St. Petersburg, Izdatel'stvo Politekhničeskogo universiteta, 660 p. (in Russian).