

УДК 004:054

DOI: [10.26102/2310-6018/2022.37.2.013](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2022.37.2.013)

Компонентная оптимизация развивающейся цифровой среды управления в организационных системах

Н.А. Рындин✉

Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Российская Федерация

nikita.ryndin@gmail.com

Резюме. В статье рассмотрены вопросы формирования оптимизационных моделей компонентной оптимизации цифровой среды управления в организационных системах на основе вероятностных оценок удовлетворения функциональных требований к компонентам и оценивания параметров влияния реализации компонентов на достижение установленных требований. Рассматриваются методы и алгоритмы вычисления параметров влияния реализации компонентов цифровой среды на достижение установленных требований. В качестве базового метода предлагается использовать многоальтернативную оптимизацию и выбор варианта интеграции компонентов в единую цифровую среду, обеспечивающую заданные требования функционирования цифровизированной организационной системы. Особое внимание уделено задаче оценивания функциональности компонентов цифровой среды для определения пригодности или замены компонента в случае неудовлетворения заданным требованиям на этапе ее развития. Рассматриваются граничные условия перехода от стадии функционирования к стадии развития цифровой среды с точки зрения выполнения установленных требований к параметрам организационной системы и выработки управляющих воздействий: дальнейшая эксплуатация компонента или его замена; введение нового компонента для обеспечения выполнения новых требований к системе; корректировка функциональности компонента в условиях неизменной структуры системы.

Ключевые слова: цифровая среда, вероятностные оценки, жизненный цикл, распределение ресурсов, компонентная оптимизация.

Для цитирования: Рындин Н.А. Компонентная оптимизация развивающейся цифровой среды управления в организационных системах. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии.* 2022;10(2). Доступно по: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1140> DOI: 10.26102/2310-6018/2022.37.2.013

Component optimization of an evolving digital management environment in organizational systems

N.A. Ryndin✉

Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation

nikita.ryndin@gmail.com

Abstract. The article deals with the formation of optimization models for component optimization of a digital management environment in organizational systems based on probabilistic assessments of component functional requirements fulfilment and estimation of the components implementation influence parameters on the achievement of established requirements. Methods and algorithms for calculating the parameters of digital environment components implementation influence on the achievement of established requirements are considered. As a principal method, it is proposed to use multi-alternative optimization and choosing the option of component integration into a single digital environment that provides the specified requirements for the functioning of a digitalized organizational system. Special attention is given to evaluating the functionality of digital environment components to

determine the suitability of a component or a need to replace it in case of non-compliance with the specified requirements at the stage of its development. Boundary conditions for the transition from the stage of functioning to the stage of digital environment development are regarded in terms of fulfilling the established requirements for organizational system parameters and developing control actions: further operation of the component or its replacement; introduction of a new component to meet new system requirements; adjustment of component functionality under the conditions of the system unchanged structure.

Keywords: digital environment, probabilistic estimates, life cycle, resource allocation, component optimization.

For citation: Ryndin N.A. Component optimization of an evolving digital management environment in organizational systems. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2022;10(2). Available from: <https://moitvivr.ru/ru/journal/pdf?id=1140> DOI: 10.26102/2310-6018/2022.37.2.013 (In Russ.).

Введение

Дальнейшее повышение эффективности принятия управленческих решений в организационных системах за счет средств информатизации существенным образом зависит от возможностей и характеристик цифровой среды управления, объединяющей программные и аппаратные компоненты для решения определенного множества локальных задач управления [1-3]. Такая среда является развивающейся, поскольку с одной стороны происходит снижение эффективности функционирования ее компонентов ниже критического уровня и требуется их замена, а с другой – возникают новые задачи управления, требующие применения новых компонентов. Под развивающейся цифровой средой будем понимать многокомпонентную цифровизированную систему управления, поддерживающую управленческие действия в организационной системе на двух уровнях: управляющего центра и объектов, каждый из которых интегрирован с компонентами цифровой среды. В этом случае, организационную систему, интегрированную с развивающейся цифровой средой управления, будем называть цифровизированной организационной системой.

Основной комплекс задач управления в организационной системе связан с распределением управляющим центром ресурсного обеспечения на функционирование и развитие объектов, входящих в систему [4, 5]. В случае цифровизированной организационной системы часть ресурсного обеспечения выделяется на функционирование и развитие цифровой среды управления по двум направлениям:

- поддержание эффективности функционирования компонентов цифровой среды управления и увеличение длительности их жизненного цикла;
- развитие за счет применения компонентов с функциональностью, соответствующей новым задачам управления, и замены компонентов, выработавших свой жизненный цикл.

Распределение этой части ресурсного обеспечения зависит от основных групп подходов к формированию цифровой среды управления в организационных системах.

Материалы и методы

Задача компонентной оптимизации развивающейся цифровой среды заключается в подборе вариантов интеграции компонентов, обеспечивающих выполнение установленных требований к организационной системе. При этом каждый компонент оценивается по выполнению требований функциональности по каждому показателю функционирования системы. Проведем формализацию этой задачи.

Пусть заданы множества вариантов архитектур цифровой среды A , множество вариантов методологий построения цифровой среды B , и множество вариантов компонентов сетевого оборудования и платформенного программного обеспечения C .

Задача компонентной оптимизации развивающейся цифровой среды заключается в ограничении разнообразия вариантов \bar{B} и \bar{C} для заданного множества вариантов $\bar{A} = A_1$. Эта задача заключается в разбиении множеств вариантов B и C на две группы, одна из которых образует подмножества $\hat{B} \in B$, $\hat{C} \in C$, отвечающие требованиям F_i^* ($i = \overline{1, I}$). Такое разбиение проводится для каждого варианта B_j ($j = \overline{1, J}$) и варианта C_k ($k = \overline{1, K}$), что приводит к следующим количествам вариантов выбора:

$$\begin{aligned} L &= 2^{V_j}, j = \overline{1, J} \text{ или} \\ L &= 2^{C_j}, k = \overline{1, K}. \end{aligned} \quad (1)$$

Априорная энтропия каждой j -ой задач (S_1):

$$H_j(S_1) = B_j \lg 2, (j = \overline{1, J}) \quad (2)$$

или k -й задачи (S_1):

$$H_k(S_1) = C_k \lg 2, (k = \overline{1, K}). \quad (3)$$

Задаче (S_1) соответствует модель, которая реализует процесс ограничения разнообразия вариантов методологий и организационных подходов для заданных архитектурных принципов при $N_m = 2, \forall m = \overline{1, M}$. Тогда, исходя из условия адекватности, имеем:

$$H_j(S_1) = B_j \lg 2 \leq H_j(\mu_1) \leq M \lg 2, M = B_j, (j = \overline{1, J}) \quad (4)$$

или

$$H_k(S_1) = C_k \lg 2 \leq H_k(\mu) \leq M \lg 2, M = C_k, (k = \overline{1, K}). \quad (5)$$

В соответствии с отношениями для размерности задачи (S_1) $M = B_j, (j = \overline{1, J})$ или $M = C_k, (k = \overline{1, K})$, $N_m = 2 \forall m = \overline{1, M}$ введем булевые переменные многовариантной оптимизационной модели:

$$x_{B_j}^1 = \begin{cases} 1, & \text{если вариант } B_j \text{ включается} \\ & \text{в множество } \hat{B} \in B \text{ при } A = A_1 \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases} \quad (6)$$

$$x_{C_k}^1 = \begin{cases} 1, & \text{если вариант } C_k \text{ включается} \\ & \text{в множество } \hat{C} \in C \text{ при } A = A_1 \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (7)$$

Установим структуру целевой функции и ограничения модели для задачи формирования допустимого множества $\hat{B} \in B$ при $A = A_1$. Для задачи формирования $\hat{C} \in C$ структура аналогична. С этой целью построим матрицу $a = \| \| a_{iB_j} \| \|$, полагая

$$a_{jB_j} = \begin{cases} 1, & \text{если элемент } B_j \text{ удовлетворяет условию} \\ & \text{рационального выбора по } i - \text{му показателю,} \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases} \quad (8)$$

$$(B_j = \overline{1, B_j}, i = \overline{1, I}).$$

Если требуется найти минимальный набор компонентов сетевого оборудования и платформенного ПО $\overline{1, B_j}$, то многовариантная оптимизационная модель записывается в виде задачи о минимальном покрытии

$$\begin{aligned} & \sum_{b_j=1}^{B_j} x_{B_j}^1 \rightarrow \min \\ & \sum_{b_j=1}^{B_j} a_{ib_j} x_{b_j}^1 \geq 1, (i = \overline{1, I}) \\ & x_{b_j}^1 = \begin{cases} 1, & (b_j = \overline{1, B_j}). \end{cases} \end{aligned} \quad (9)$$

В ряде ситуаций имеющейся информации недостаточно для построения матрицы $\|a_{ib_j}\|$. Тогда коэффициенты матрицы можно определить на основе априорно заданных вероятностей предпочтительного использования вариантов P_j^B и P_t^Y относительно показателей $F_i (i \in I_1)$, а по остальным – установить ограничения $E_i (i \in I_2)$ с учетом матриц условных вероятностей $P(A_l/B_j)$, $P(B_j/C_k)$, $P(A_l, C_k)$, являющихся характеристиками a_{ib_j} отдельных элементов. Тогда многовариантная оптимизационная модель сводится к многомерной задаче о ранце:

$$\begin{aligned} & \sum_{b_j=1}^{B_j} a_{ib_j} x_{b_j}^1 \rightarrow \max, \\ & \sum_{b_j=1}^{B_j} a_{ib_j} x_{b_j}^1 \leq E_{b_j}, (i = \overline{1, I_2}), \\ & x_{b_j}^1 = \begin{cases} 1, & (b_j = \overline{1, B_j}). \end{cases} \end{aligned} \quad (10)$$

Результаты

Построенные оптимизационные модели позволяют перейти к решению задачи нахождения вариантов интеграции множества компонентов развивающейся цифровой среды, удовлетворяющих заданным требованиям к функционированию системы по ряду показателей. При этом оценивание варианта интеграции на множестве архитектур, методологий и оборудования для реализации компонентов цифровой среды осуществляется с учетом их взаимного влияния на основе формирования матриц условных вероятностей предпочтительного использования вариантов этих множеств.

Управляющий центр устанавливает период времени T и выбирает из оптимизированной последовательности множество $g = \overline{1, G}$ компонентов, которые обеспечивают функционирование цифровой среды управления. Для ввода в эксплуатацию и поддержание функциональности g -го компонента требуется ресурсное обеспечение $U_g^o, g = \overline{1, G}$. Поскольку интегральный ресурс, выделяемый в организационной системе на период времени T ограничен величиной U , число компонентов, эксплуатируемых на стадии функционирования $G' \leq G$.

С целью установления числа компонентов G' будем учитывать жизненный цикл каждого компонента по уровню функциональности. Изменение уровня функциональности представляется некоторой нормированной функцией $f_g(t)$, фиксируемой в моменты мониторинга функциональности $t = \overline{1, T}$. В момент $t = T_g^\circ$ она достигает требуемого уровня функциональности $f_g(T_g^\circ) = 1$, а в момент $t = T_g^{\text{кр}}$ — критического порога $f_g(T_g^{\text{кр}})$.

В этом случае каждому компоненту соответствует период времени поддержания уровня функциональности

$$\tau_g = T_g^{\text{кр}} - T_g^\circ,$$

в течение которого расходуется часть ресурсного обеспечения $U_g^\circ, g = \overline{1, G}$. Тогда значимость включения этого компонента в множество $g' = \overline{1, G'}$ будет зависеть от нормированного значения $\hat{\tau}_g$ в виде отношения величины τ_g к периоду времени функционирования T :

$$\hat{\tau}_g = \frac{\tau_g}{T}.$$

Введем альтернативные переменные, определяющие включение g -го компонента в множество $g' = \overline{1, G'}$:

$$x_g = \begin{cases} 1, & \text{если } g \text{ – й компонент эксплуатируется} \\ & \text{на стадии функционирования развивающейся} \\ & \text{цифровой среды управления} \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases} \quad (11)$$

$$g = \overline{1, G}.$$

Оптимизация заключается в максимальном охвате компонентов из множества $g = \overline{1, G}$ в период времени функционирования T

$$\sum_{g=1}^G \hat{\tau}_g x_g \rightarrow \max \quad (12)$$

при выделенном ресурсном обеспечении U

$$\sum_{g=1}^G U_g^\circ x_g \leq U. \quad (13)$$

Рассматривая в качестве критерия оптимизации (12), а ограничений (13), получаем модель многоальтернативной оптимизации, нацеленную на выполнение принципа многовариантной структуризации [3],

$$\sum_{g=1}^G \hat{\tau}_g x_g \rightarrow \max,$$

$$\sum_{g=1}^G U_g^\circ x_g \leq U, \quad (14)$$

$$x_g = \begin{cases} 1, \\ 0, \end{cases} \quad g = \overline{1, G}.$$

Решение (14), полученное на основе рандомизированной схемы поиска, определяет состав нумерационного множества $g' = \overline{1, G'}$.

Далее необходимо определить распределение ресурсного обеспечения $U_{g'}$, $g' = \overline{1, G'}$ на мероприятия по поддержанию функциональности g' -го компонента в моменты времени t_k , $k = \overline{1, K}$, относящиеся к периоду $T_{g'}^{KP} - T_{g'}^o$, таким образом, чтобы выполнялось условие

$$\sum_{k=1}^K U_{g'k} \leq U_{g'}, \quad g' = \overline{1, G'}, \quad (15)$$

где $U_{g'k}$ – ресурсное обеспечение, используемое для мероприятия по поддержке функциональности g' -го компонента в момент t_k .

Процесс изменения уровня функциональности компонента на интервале времени $[T^o, T^{KP}]$ является случайным процессом:

$$\tilde{f}_k = \tilde{f}(t_k), \quad k = \overline{1, K} \quad (16)$$

где \tilde{f} – обозначение случайной величины.

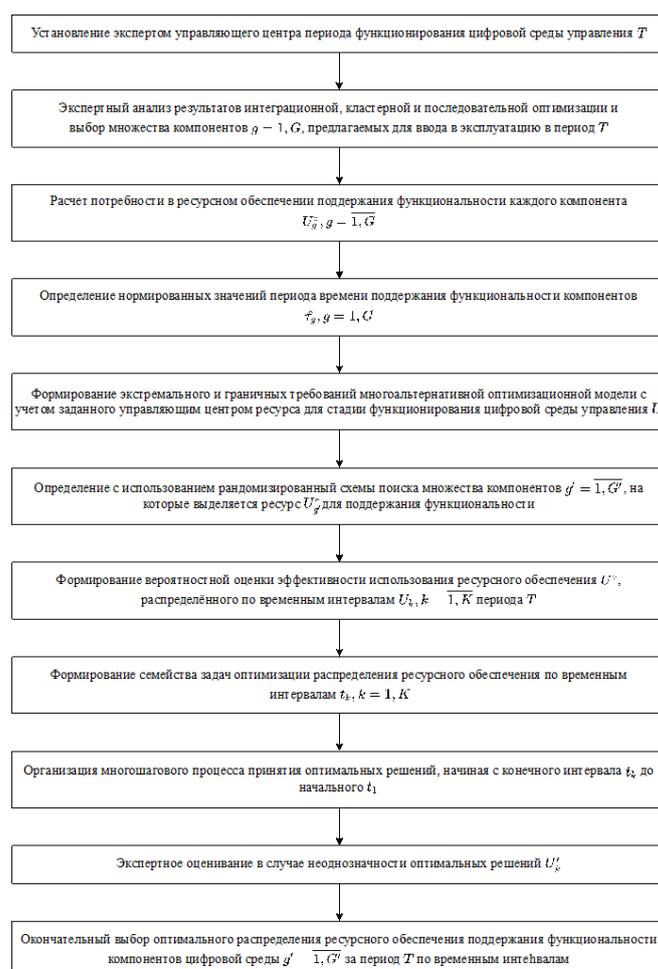


Рисунок 1 – Структурная схема алгоритма поиска ресурсного обеспечения при компонентной оптимизации развивающейся цифровой среды

Figure 1 – Flowchart of the resource support search algorithm for component optimization of a developing digital environment

Тогда для оценки эффективности мероприятий и соответственно затрат u_k , позволяющих обеспечить поддержание уровня функциональности компонента, предлагается использовать вероятностную оценку выполнения условий [4]:

$$E(u_k, t_k) = P(1 \geq f(u_k, t_k) \geq f_{кр}), k = \overline{1, K}, \quad (17)$$

где P – обозначение вероятности случайного события.

С целью вычисления (17) необходимо провести аппроксимацию случайного процесса некоторой функцией со случайными параметрами [4]. В качестве такой функции, учитывая характер изменения $f(t)$ на этапе жизненного цикла $t = \overline{T^\circ, T^{кр}}$, выберем экспоненциальную функцию

$$\tilde{f}_k = 1 - \tilde{Q}_1 e^{-\tilde{Q}_2 k}, k = \overline{1, K}, t_1 > T^\circ \quad (18)$$

где \tilde{Q}_1, \tilde{Q}_2 случайные значения параметров.

Решение задачи многокритериальной оптимизации определяет оптимальное распределение ресурса U° между временными сроками $t_k, k = \overline{1, K}$ для поддержания уровня функциональности компонента на этапе жизненного цикла $\overline{T^\circ, T^{кр}}$. Структурная схема оптимизации распределения ресурсного обеспечения на стадии функционирования цифровой среды управления в организационной системе приведена на Рисунке 1.

Заключение

Предложенные модели и поисковые схемы компонентной оптимизации были использованы для разработки цифровой развивающейся среды управления организационной системы агропромышленного предприятия. В результате была получена многокомпонентная цифровая среда для решения задач управления экономическими показателями предприятия за счет планирования и контроля показателей производственной эффективности отдельных организационных компонентов структуры предприятия. Внедрение цифровой среды управления позволило обеспечить значительный рост показателей агропромышленных предприятий Воронежской области при незначительном росте инвестиционных ресурсов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Новиков Д.А. *Теория управления организационными системами*. 2-е изд. М.: Физматлит; 2007. 584 с.
2. Масленников В.В., Ляндау Ю.В., Калинина Н.А. Формирование системы цифрового управления организацией. *Вестник Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова*. 2019;6:116–123.
3. Козырев А.Н. Цифровая экономика и цифровизация в исторической ретроспективе. *Цифровая экономика*. 2018;1:5–19.
4. Мрочковский Н.С., Ляндау Ю.В., Пушкин И.С., Кривоногов Е.А. Основные тенденции цифровой трансформации бизнеса. *Экономика и предпринимательство*. 2019;4(105):89–91.
5. Львович Я.Е., Львович И.Я., Чопоров О.Н. *Оптимизация цифрового управления в организационных системах: коллективная монография*; под общ. ред. Я.Е. Львовича. Воронеж: ИПЦ «Научная книга»; 2021. 191 с.
6. Львович Я.Е., Рындин Н.А., Сахаров Ю.С. Оптимизация распределения ресурсного обеспечения развития цифровой среды управления в организационных системах. *Вестник РосНОУ. Сложные системы: модели, анализ, управление*. 2021;4:46–53.

7. Львович Я.Е. Львович И.Я. *Принятие решений в экспертно-виртуальной среде: монография*. Воронеж: ИПЦ «Научная книга»; 2010. 140 с.
8. Lvovich Y.E., Ryndin N.A., Sakharov Y.S. Optimization of the level of components' functionality of developing software systems. *Journal Revista San Gregorio*. 2020;41.
9. Сорокин С.О. Оптимизационное моделирование функционирования системы однородных объектов в многоаспектной цифровой среде. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2018;6(3).
10. Тишуков Б.Н., Львович Я. Е. Разработка процедур численной оптимизации объектов со структурно-вариативным управлением на основе использования популяционных алгоритмов. *Вестник Воронежского государственного технического университета*. 2016;12(3):12–16.

REFERENCES

1. Novikov D.A. *Teoriia upravleniia organizatsionnymi sistemami*. 2-e izd. M.: Fizmatlit; 2007. 584 p. (In Russ.)
2. Maslennikov V.V., Liandau Iu.V., Kalinina N.A. Formirovanie sistemy tsifrovogo upravleniia organizatsiei. *Vestnik Rossiiskogo ekonomicheskogo universiteta imeni G.V. Plekhanova = Vestnik of the Plekhanov Russian University of Economics*. 2019;6:116–123. (In Russ.)
3. Kozyrev A.N. Tsifrovaia ekonomika i tsifrovizatsiia v istoricheskoi retrospektive. *Tsifrovaia ekonomika = Digital Economy*. 2018;1:5–19. (In Russ.)
4. Mrochkovskii N.S., Liandau Iu.V., Pushkin I.S., Krivonogov E.A. Osnovnye tendentsii tsifrovoi transformatsii biznesa. *Ekonomika i predprinimatel'stvo = Journal of Economy and entrepreneurship*. 2019;4(105):89–91. (In Russ.)
5. L'vovich Ia.E., L'vovich I.Ia., Choporov O.N. *Optimizatsiia tsifrovogo upravleniia v organizatsionnykh sistemakh: kollektivnaia monografiia*; pod obshch. red. Ia.E. L'vovicha. Voronezh: IPTs «Nauchnaia kniga»; 2021. 191 p. (In Russ.)
6. L'vovich Ia.E., Ryndin N.A., Sakharov Iu.S. Optimizatsiia raspredeleniia resursnogo obespecheniia razvitiia tsifrovoi sredy upravleniia v organizatsionnykh sistemakh. *Vestnik RosNOU. Slozhnye sistemy: modeli, analiz, upravlenie*. 2021;4:46–53. (In Russ.)
7. L'vovich Ia.E. L'vovich I.Ia. *Priniatie reshenii v ekspertno-virtual'noi srede: monografiia*. Voronezh: IPTs «Nauchnaia kniga»; 2010. 140 p. (In Russ.)
8. Lvovich Y.E., Ryndin N.A., Sakharov Y.S. Optimization of the level of components' functionality of developing software systems. *Journal Revista San Gregorio*. 2020;41.
9. Sorokin S.O. Optimizatsionnoe modelirovanie funktsionirovaniia sistemy odnorodnykh ob"ektov v mnogoaspektnoi tsifrovoi srede. *Modelirovanie, optimizatsiia i informatsionnye tekhnologii = Modeling, optimization and information technology*. 2018;6(3). (In Russ.)
10. Tishukov B.N., L'vovich Ia.E. Razrabotka protsedur chislennoi optimizatsii ob"ektov so strukturno-variativnym upravleniem na osnove ispol'zovaniia populiatsionnykh algoritmov. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of Voronezh State Technical University*. 2016;12(3):12–16. (In Russ.)

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Рындин Никита Александрович, кандидат технических наук, доцент Воронежского государственного технического университета, г. Воронеж, Российская Федерация.
e-mail: nikita.ryndin@gmail.com

Ryndin Nikita Aleksandrovich Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation.

ORCID: [0000-0002-0774-2352](https://orcid.org/0000-0002-0774-2352)

*Статья поступила в редакцию 04.02.2022; одобрена после рецензирования 29.04.2022;
принята к публикации 25.05.2022.*

*The article was submitted 04.02.2022; approved after reviewing 29.04.2022;
accepted for publication 25.05.2022.*