

УДК 681.3

DOI: [10.26102/2310-6018/2025.49.2.003](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2025.49.2.003)

Оптимизационное моделирование процесса управления персоналом с автоматизированными устройствами в информационной системе выполнения заказов потребителей

А.Ю. Бакулин✉, Я.Е. Львович, Ю.П. Преображенский, А.Д. Букреев

Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Российская Федерация

Резюме. В статье предлагается оптимизационный подход к управлению взаимодействием персонала с автоматизированными устройствами в информационной среде цифровизированной организационной системы выполнения заказов потребителей с использованием результатов имитационного моделирования. Для построения имитационной модели системы массового обслуживания взаимодействие персонала с автоматизированными устройствами рассматривается как взаимодействие неэргатических и эргатических элементов в человеко-машинной среде. Обоснована логическая схема преобразования потока заявок потребителей через локальные агрегаторы и каналы обслуживания, включающие неэргатические и эргатические элементы, при трансфере цифровых данных о заказе производителям для их материальной реализации. Предложено осуществлять варьирование интенсивностью обслуживания не за счет выбора задействованных параллельных каналов, а непосредственно величиной суммарной интенсивности, зависящей от числа неэргатических и эргатических элементов. Осуществлено формирование оптимизационной модели, оптимизируемыми переменными которых являются величины интенсивностей. В качестве экстремального требования рассматривается требование максимизации производительности системы, а в качестве граничных выступают требования обеспечения допустимого уровня затрат и вероятности ошибочных действий. Проведены преобразования по переходу от задачи оптимизации с ограничениями к эквивалентной задаче оптимизации без ограничений. Предложена алгоритмизация принятия управленческого решения по выбору количества взаимодействующих неэргатических и эргатических элементов путем выстраивания итерационного процесса поиска с использованием оптимизационной модели в процессе имитационного моделирования цифровизированной организационной системы выполнения заказов потребителей.

Ключевые слова: цифровизированная организационная система, управление, человеко-машинная среда, имитационное моделирование, оптимизация.

Для цитирования: Бакулин А.Ю., Львович Я.Е., Преображенский Ю.П., Букреев А.Д. Оптимизационное моделирование процесса управления персоналом с автоматизированными устройствами в информационной системе выполнения заказов потребителей. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2025;13(2). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1840> DOI: 10.26102/2310-6018/2025.49.2.003

Optimization modeling of personnel management process with automated devices in the information system of customer order fulfillment

A.Yu. Bakulin✉, Ya.E. Lvovich, Yu.P. Preobrazhensky, A.D. Bukreev

Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, the Russian Federation

Abstract. The paper proposes an optimization approach to managing the interaction of personnel with automated devices in the information environment of a digitalized organizational system of customer

order fulfillment using the results of simulation modeling. To build a simulation model of mass service system, the interaction of personnel with automated devices is considered as the interaction of non-ergatic and ergatic elements in the human-machine environment. The logical scheme of transforming the flow of consumer requests through local aggregators and service channels, including non-ergatic and ergatic elements, when transferring digital data on the order to manufacturers for their material realization is substantiated. It is proposed to vary the intensity of service not by choosing the parallel channels involved, but directly by the value of the total intensity, depending on the number of non-ergatic and ergatic elements. Formation of the optimization model is carried out, the optimizable variables of which are the values of intensities. The requirement of maximizing the system performance is considered as an extreme requirement, and the requirements of providing an acceptable level of costs and probability of erroneous actions act as boundary requirements. Transitions from the optimization problem with constraints to the equivalent optimization problem without constraints are carried out. Algorithmization of managerial decision making on choosing the number of interacting non-ergatic and ergatic elements by building an iterative search process using an optimization model in the process of simulation modeling of a digitalized organizational system of customer order fulfillment is proposed.

Keywords: digitalized organizational system, management, human-machine environment, simulation modeling, optimization.

For citation: Bakulin A.Yu., Lvovich Ya.E., Preobrazhensky Yu.P., Bukreev A.D. Optimization modeling of personnel management process with automated devices in the information system of customer order fulfillment. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2025;13(2). (In Russ.). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1840> DOI: 10.26102/2310-6018/2025.49.2.003

Введение

Современный этап развития информационных технологий характеризуется переходом к системной цифровизации организационных систем разных отраслей экономики и социальной сферы [1]. Системная цифровизация базируется на использовании цифровых платформ, обеспечивающих управление взаимодействием управляющего центра со всеми составляющими системы [2]. Такой уровень цифровой трансформации требует исследования класса цифровизированных организационных систем [3]. Разнообразие функций автоматизированных устройств, входящих в состав такой системы, приводит к необходимости учета особенностей их реализации как в физической, так и информационных средах. Характерной физической средой являются организационные системы, построенные на базе автоматизированных устройств выполнения услуг [4]. Оптимизация управления в таких системах на базе моделей массового обслуживания рассматривается в [5].

Другой тип управления взаимодействием составляющих цифровой организационной системы возникает по отношению к автоматизированным устройствами, интегрированным с программными средствами в информационной среде. Особую значимость этот тип управления приобретает при взаимодействии производителей и потребителей результатов деятельности на базе единой цифровой платформы [6], так как от эффективности использования автоматизированных устройств (устройства печати, сканеры) во многом зависит эффективность цифровизированной организационной системы в целом. При этом на уровень показателей влияет не только процесс взаимодействия этих устройств с программными средствами, но и с персоналом, выполняющим действия с материальными компонентами, описание которых представлено в цифровом виде.

Указанные условия взаимодействия с автоматизированными устройствами отличаются от тех, которые рассмотрены в [5], именно приоритетностью участия персонала. Поэтому в отличие от [3] следует рассматривать имитационное

моделирование системы массового обслуживания [7] с учетом особенностей человеко-машинной среды [8]. По классификации, представленной в [9], персонал цифровизированной организационной системы относится к эргатическим элементам, а автоматизированные устройства – к неэргатическим. В модели цифровизированной организационной системы как системы массового обслуживания эффективность функционирования при заданном потоке заявок зависит от интенсивности их обслуживания как неэргатическими, так и эргатическими элементами. Именно варьирование этими параметрами позволяет обеспечить их оптимальный выбор по множеству показателей эффективности.

Поэтому целью статьи является исследование, связанное с применением оптимизационного подхода к управлению процессом взаимодействия персонала с автоматизированными устройствами в цифровизированной системе выполнения заказов потребителей.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- сформировать оптимизационную модель взаимодействия персонала с автоматизированными устройствами;
- разработать алгоритмическую процедуру принятия управленческого решения на основе оптимизационной модели.

Формирование оптимизационной модели взаимодействия персонала с автоматизированными устройствами

На первом этапе исследования проведем содержательное описание взаимодействия персонала и автоматизированных устройств в информационной среде цифровизированной организационной системы выполнения заказов потребителей и введем основные обозначения. Указанное взаимодействие проявляется в процессе решений управляющего центра организационной системы по цифровому трансферу заказов потребителей производителям их материальным воплощением персоналом на основе цифровой информации.

Первоначально заказы потребителей обрабатываются $j = \overline{1, J}$ локальными агрегаторами и затем распределяются для выполнения $i = \overline{1, I}$ производителям. То есть каждый i -й канал обслуживания обрабатывает $j = \overline{1, J}$ потоков заявок, которые поступают со средней интенсивностью λ_{ij} . На входе i -го канала заявки от $j = \overline{1, J}$ агрегаторов суммируются, в результате имеем входной поток со средней интенсивностью

$$\lambda_i = \sum_{j=1}^J \lambda_{ij}.$$

В i -м канале обслуживания обработка заявок осуществляется в человеко-машинной среде. Эта среда включает в себя $n_i = \overline{1, N_i}$ неэргатических элементов, средняя интенсивность обслуживания которыми μ_{ni}^H . Каждый неэргатический элемент взаимодействует с $m_{ni} = \overline{1, M_{ni}}$ эргатическими элементами, интенсивность обслуживания которых $\mu_{mni}^\exists$. При функционировании перечисленных элементов возникают отказы неэргатических элементов с вероятностью $q_{ni}^H, n_i = \overline{1, N_i}, i = \overline{1, I}$ и ошибки в действиях эргатических элементов с вероятностью $q_{mni}^\exists, m_{ni} = \overline{1, M_{ni}}, n_i = \overline{1, N_i}, i = \overline{1, I}$. Кроме того возникают стоимостные потери, связанные со временем на восстановление неэргатического элемента после отказа $C_{ni}^H, n_i = \overline{1, N_i}, i = \overline{1, I}$ и временем простоя эргатического элемента при отсутствии заявки на обслуживание $C_{mni}^\exists, m_{ni} = \overline{1, M_{ni}}, n_i = \overline{1, N_i}, i = \overline{1, I}$.

Все эти параметры, характеризующие функционирование цифровизированной организационной системы выполнения заказов потребителей, получают по результатам мониторинга. При этом вычисления средних интенсивностей предполагает, что законы распределения количества заявок входного потока и времени обслуживания являются экспоненциальными [9].

Второй этап исследования направлен на построение модели массового обслуживания для проверки имитационного эксперимента, отражающего последовательность прохождения заявок в системе за период времени T .

Вычислительная схема имитационного эксперимента позволяет варьировать интенсивность обслуживания заявок [7]. Для упрощения изменений указанных параметров в процессе численной оптимизации по показателям эффективности будем считать, что

$$\mu_{ni}^H = \mu^H \forall n_i = \overline{1, N_i}, \text{ тогда } \mu_i^H = N_i \mu^H, \quad (1)$$

$$\mu_{mni}^\exists = \mu_i^\exists \forall m_{ni} = \overline{1, M_{ni}}, \text{ тогда } \mu_{ni}^\exists = M_{ni} \mu_i^\exists, \quad (2)$$

$$q_i^H = \frac{\sum_{n_i=1}^{N_i} q_{ni}^H}{N_i}, q_i^\exists = \frac{\sum_{m_{ni}=1}^{M_{ni}} q_{mni}^\exists}{M_{ni}}. \quad (3)$$

Поскольку в (1)–(3) учитывается число неэргатических и эргатических элементов, определяющих число параллельных каналов, в отличие от [5], не требуется функционирование каждого канала характеризовать альтернативными переменными, а достаточно осуществлять поиск непрерывными переменными путем варьирования $\mu_i^H, \mu_{ni}^\exists$ на заданных интервалах:

$$\mu_i^{Hmin} \leq \mu_i^H \leq \mu_i^{Hmax}, i = \overline{1, I}, \quad (4)$$

$$\mu_{ni}^{\exists min} \leq \mu_{ni}^\exists \leq \mu_{ni}^{\exists max}, n_i = \overline{1, N_i}, i = \overline{1, I}. \quad (5)$$

В процессе имитационного эксперимента в зависимости от значений (4), (5) определяется ряд показателей эффективности функционирования системы массового обслуживания.

Производительность:

$$\Psi_1 = \frac{U}{T}, \quad (6)$$

где U – количество обрабатываемых заявок всеми $i = \overline{1, I}$ каналами обслуживания за период времени T .

Затраты за период времени T :

$$\begin{aligned} \Psi_2 = \sum_{i=1}^I \sum_{n_i=1}^{N_i} U_{ni}^H C_{ni}^H + \sum_{i=1}^I \sum_{n_i=1}^{N_i} \sum_{m_{ni}=1}^{M_{ni}} U_{mni}^\exists C_{mni}^\exists + \sum_{i=1}^I \sum_{n_i=1}^{N_i} \tau_{ni}^B C_{ni}^H + \\ + \sum_{i=1}^I \sum_{n_i=1}^{N_i} \sum_{m_{ni}=1}^{M_{ni}} \tau_{mni}^n C_{mni}^\exists, \end{aligned} \quad (7)$$

где U_{ni}^H – количество заявок, обслуживаемых ni -м неэргатическим элементом; C_{ni}^H – средние затраты на обслуживание одной заявки ni -м неэргатическим элементом; $U_{mni}^\exists$ – количество заявок, обслуживаемых m_{ni} -м эргатическим элементом; $C_{mni}^\exists$ – средние затраты на обслуживание одной заявки m_{ni} -м эргатическим элементом; τ_{ni}^B – среднее время восстановления ni -го неэргатического элемента после отказа; τ_{mni}^n – среднее время простоя mni -го неэргатического элемента; C_{ni}^H – средние затраты на восстановление ni -го неэргатического элемента.

Надежность Ψ_3 – вероятность невыполнения заказа как за счет сбоев неэргатических элементов, так и ошибочных действий эргатических элементов за период времени T :

$$\Psi_3 = \frac{U_1}{U}, \quad (8)$$

где U_1 – количество невыполненных заказов по причине сбоев и ошибок всеми $i = \overline{1, I}$ каналами за период времени T .

Значения показателей Ψ_1, Ψ_2, Ψ_3 с учетом (6)–(8) зависят от интенсивностей обслуживания $\mu_i^H, \mu_{ni}^\exists, i = \overline{1, I}, n_i = \overline{1, N_i}$:

$$\Psi_1 = \Psi_1(\mu_i^H, \mu_{ni}^\exists), \quad (9)$$

$$\Psi_2 = \Psi_2(\mu_i^H, \mu_{ni}^\exists), \quad (10)$$

$$\Psi_3 = \Psi_3(\mu_i^H, \mu_{ni}^\exists). \quad (11)$$

Имея возможность по результатам имитационного эксперимента при фиксированных значениях $\mu_i^H, \mu_{ni}^\exists, i = \overline{1, I}, n_i = \overline{1, N_i}$, сформируем на основе (9)–(11) оптимизационную модель. В качестве экстремального требования выступает требование максимизации производительности, граничных требований – допустимый уровень затрат Ψ_2^0 и вероятности невыполнения заказа Ψ_3^0 . С учетом интервальных ограничений (4), (5) получаем следующую формализованную постановку задачи оптимизации:

$$\begin{aligned} \Psi_1(\mu_i^H, \mu_{ni}^\exists) &\rightarrow \mu_i^H, \mu_{ni}^\exists \quad i = \overline{1, I}, n = \overline{1, N_i}, \\ \Psi_2(\mu_i^H, \mu_{ni}^\exists) &\leq \Psi_1^0, \\ \Psi_3(\mu_i^H, \mu_{ni}^\exists) &\leq \Psi_2^0, \\ \mu_i^{Hmin} &\leq \mu_i^H \leq \mu_i^{Hmax}, i = \overline{1, I}, \\ \mu_{ni}^{\exists min} &\leq \mu_{ni}^\exists \leq \mu_{ni}^{\exists max}, i = \overline{1, I}, n = \overline{1, N_i}. \end{aligned} \quad (12)$$

Задача оптимизации (12) включает ограничения. В этом случае целесообразно перейти к эквивалентной оптимизации функции Лагранжа [9]:

$$\begin{aligned} \mu_i^H, \mu_{ni}^\exists, i = \overline{1, I}, n = \overline{1, N_i} \quad & \begin{matrix} \max \\ \min \end{matrix} \\ y_1 \geq 0, y_2 \geq 0 & \\ \vartheta(\mu_i^H, \mu_{ni}^\exists, y_1, y_2) &= \Psi_1(\mu_i^H, \mu_{ni}^\exists) + y_1(\Psi_2^0 - \Psi_2(\mu_i^H, \mu_{ni}^\exists)) + y_2(\Psi_3^0 - \Psi_3(\mu_i^H, \mu_{ni}^\exists)), \end{aligned} \quad (13)$$

где $y_1 \geq 0, y_2 \geq 0$ – коэффициенты функции Лагранжа.

Алгоритмическая процедура принятия управленческого решения на основе оптимизационной модели

В [10] показано, что использование генерации моментов поступления заявок в канал обслуживания на основе преобразования последовательности псевдослучайных чисел ξ , равномерно распределенных на интервале $[0, 1]$ в последовательность случайных чисел, распределенных по экспоненциальному закону, предопределяет возможности итеративной настройки интенсивностей обслуживания с применением адаптивных алгоритмов.

Будем считать, что величина интенсивности является случайной величиной $\widetilde{\mu}_{iH}$, равномерно распределенной на интервале (4), а $\widetilde{\mu}_{ni}^\exists$ – на интервале (5).

Такое распределение соответствует адаптивному алгоритму, построенному на основе процедуры Кифера-Вольфовица [9, 10]. Для запуска итерационного процесса поиска решения (13) необходимо установить значения оптимизируемых переменных при $k=1$. В случае равномерного распределения:

$$\mu_i^{H(k=1)} = \xi(\mu_i^{Hmax} - \mu_i^{Hmin}), i = \overline{1, I},$$

$$\mu_{ni}^{\exists(k=1)} = \xi(\mu_i^{\exists max} - \mu_i^{\exists min}), i = \overline{1, I}, ni = \overline{1, N_i}.$$

Если определено значение переменных (4), (5) на k -ой итерации, то значение на $(k+1)$ -й итерации вычисляется следующим образом [9]:

$$\mu_i^{H(k+1)} = \mu_i^{H(k)} + \alpha^{(k+1)} \frac{\vartheta(\mu_i^{H(k)} + \gamma^{(k+1)}) - \vartheta(\mu_i^{H(k)} - \gamma^{(k+1)})}{2\gamma^{(k+1)}}, i = \overline{1, I}, \quad (14)$$

$$\mu_{ni}^{\exists(k+1)} = \mu_{ni}^{\exists(k)} + \beta^{(k+1)} \frac{\vartheta(\mu_i^{\exists(k)} + \sigma^{(k+1)}) - \vartheta(\mu_i^{\exists(k)} - \sigma^{(k+1)})}{2\sigma^{(k+1)}}, i = \overline{1, I}, ni = \overline{1, N_i}, \quad (15)$$

где $\alpha^{(k+1)}, \beta^{(k+1)}$ – величины шагов движения в направлении экстремума на $(k+1)$ -й итерации; $\gamma^{(k+1)}, \sigma^{(k+1)}$ – величины вариации оптимизируемой переменной на $(k+1)$ -й итерации, параметры $\alpha^{(k)}, \gamma^{(k)}, \beta^{(k)}, \sigma^{(k)}$ выбираются, исходя из условий сходимости алгоритма [10].

Коэффициенты Лагранжа при разных $y_1^{(k+1)}, y_2^{(k+1)}$ определяются по правилам градиентного алгоритма [9]

$$y_1^{(k+1)} = \max\{0, y_1^{(k)} - a[\Psi_2^0 - \Psi_2(\mu_i^{H(k)}, \mu_{ni}^{\exists(k)})]\}, \quad (16)$$

$$y_2^{(k+1)} = \max\{0, y_2^{(k)} - b[\Psi_3^0 - \Psi_3(\mu_i^{H(k)}, \mu_{ni}^{\exists(k)})]\}, \quad (17)$$

где a, b – величины шага движения в направлении экстремума задаются при $k=1$.

Остановка итерационного процесса (14)–(17) осуществляется при заданном значении числа итераций $k=K$. В результате получаем значения оптимизируемых переменных

$$\mu_i^{H(K)}, i = \overline{1, I}, \quad (18)$$

$$\mu_{ni}^{\exists(K)}, i = \overline{1, I}, ni = \overline{1, N_i}. \quad (19)$$

На основе (1) с учетом (18) имеем

$$N_i^{(K)} = \frac{\mu_i^{H(K)}}{\mu^H}, i = \overline{1, I}, \quad (20)$$

а на основе (2) с учетом (19)

$$M_{ni}^{(K)} = \frac{\mu_{ni}^{\exists(K)}}{\mu_i^{\exists}}, i = \overline{1, I}, ni = \overline{1, N_i}. \quad (21)$$

Предлагается округлить значения (20), (21) до целых чисел N_i, M_{ni} и проверить выполнение ограничений по допустимому уровню, проведя имитационный эксперимент при

$$\mu_i^H = N_i \mu^H, i = \overline{1, I},$$

$$\mu_{ni}^{\exists} = M_{ni} \mu_i^{\exists}, i = \overline{1, I}, ni = \overline{1, N_i}.$$

Если ограничения выполняются, то значения N_i, M_{ni} принимаются в качестве управленческого решения. В противном случае продолжают итерационный процесс до достижения числа итераций $K_1 > K$ и возвращаются к проверке выполнения ограничений, повторяя эти циклы до окончательного принятия управленческого решения.

Заключение

Оптимизация управления взаимодействием персонала с автоматизированными устройствами в информационной среде цифровизированной организационной системы выполнения заказов потребителей включает в себя ряд этапов:

- логическое структурирование процесса взаимодействия в человеко-машинной среде, включающей неэргатические и эргатические элементы, как системы массового обслуживания заявок;
- формирование модели массового обслуживания для проведения имитационных экспериментов по определению показателей эффективности функционирования исследуемой системы при варьировании интенсивностями обслуживания;
- построение оптимизационной модели, определяющей в качестве экстремального требования максимизации производительности системы, а граничных требований – допустимый уровень затрат и вероятность ошибочных действий;
- разработка алгоритмической процедуры принятия управленческого решения на основе совмещения имитационного и оптимизационного моделирования.

Связанность варьирования оптимизируемыми переменными в процессе имитационного эксперимента с количеством неэргатических и эргатических элементов в канале выполнения заявок потребителей позволяет встроить в этот процесс итерационную процедуру поиска управленческого решения.

Встраивание итерационной процедуры поиска управленческого решения в процесс имитационного эксперимента определяет значения интенсивностей обслуживания как случайных величин, равномерно распределенных на заданном интервале.

Случайный характер изменения оптимизируемых переменных позволяет осуществлять итерационный поиск в рамках эквивалентной задачи оптимизации без ограничений с использованием адаптивного алгоритма.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Вайл П., Ворнер С. *Цифровая трансформация бизнеса. Изменение бизнес-модели для организации нового поколения*. Москва: Альпина Пабlishер; 2019. 264 с.
Weill P., Woerner S. *What's Your Digital Business Model?: Six Questions to Help You Build the Next-Generation Enterprise*. Moscow: Alpina Publisher; 2019. 264 p. (In Russ.).
2. Гретченко А.И., Горохова И.В. Цифровая платформа: новая бизнес-модель в экономики России. *Вестник Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова*. 2019;(1):62–72. <https://doi.org/10.21686/2413-2829-2019-1-62-72>
Gretchenko A.I., Gorokhova I.V. Digital Platform: a New Business Model in the Russian Economy. *Vestnik of the Plekhanov Russian University of Economics*. 2019;(1):62–72. (In Russ.). <https://doi.org/10.21686/2413-2829-2019-1-62-72>
3. Рындин Н.А. Алгоритмизация процесса многовариантной структуризации в цифровизированных организационных системах. *Моделирование, оптимизация и*

- информационные технологии. 2023;11(1). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2023.40.1.005>
- Ryndin N.A. Algorithmization of the Multivariate Structuring Process in Digitalized Organizational Systems. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2023;11(1). (In Russ.). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2023.40.1.005>
4. Шайдаков И.Е. Автоматизация процессов и внедрение дистанционного обслуживания клиентов – ключевые тенденции развития сферы услуг. *Известия Санкт-Петербургского государственного экономического университета*. 2016;(5):169–172.
- Shaidakov I.E. Automation of Processes and Introduction of Remote Customer Service – Key Trends of the Service Companies' Development. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta*. 2016;(5):169–172. (In Russ.).
5. Бакулин А.Ю., Львович Я.Е. Анализ и оптимизация эффективности функционирования организационной системы с автоматизированными устройствами обслуживания на основе имитационного моделирования. *Моделирование, оптимизация и информационных технологии*. 2024;12(2). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2024.45.2.030>
- Bakulin A.Yu., Lvovich Ya.E. Analysis and Optimization of Organizational System Functioning Efficiency with Automated Service Devices on the Basis of Simulation Modeling. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2024;12(2). (In Russ.). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2024.45.2.030>
6. Селезнева М.П. Электронные аукционы в условиях цифровой трансформации. *Экономика и бизнес: теория и практика*. 2021;(11-1):197–199. <https://doi.org/10.24412/2411-0450-2021-11-1-197-199>
- Selezneva M.P. Electronic Auctions in the Conditions of Digital Transformation. *Journal of Economy and Business*. 2021;(11-1):197–199. (In Russ.). <https://doi.org/10.24412/2411-0450-2021-11-1-197-199>
7. Снапелев Ю.М., Старосельский В.А. *Моделирование и управление в сложных системах*. Москва: Советское радио; 1974. 264 с.
8. Ермолова В.В., Львович Я.Е., Преображенский Ю.П. Оптимизация взаимодействий компонентов человеко-машинной системы цифровизации. *Моделирование, оптимизация и информационных технологии*. 2023;11(2). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2023.41.2.031>
- Yermolova V.V., Lvovich Ya.E., Preobrazhenskiy Yu.P. Optimizing Interaction of the Components in a Human-Machine System of Digitalization. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2023;11(2). (In Russ.). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2023.41.2.031>
9. Львович И.Я., Львович Я.Е., Фролов В.Н. *Информационные технологии моделирования и оптимизации. Краткая теория и приложения*. Воронеж: Научная книга; 2016. 444 с.
10. Львович И.Я. *Принятие решений на основе оптимизационных моделей и экспертной информации*. Воронеж: Научная книга; 2023. 232 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Бакулин Александр Юрьевич, аспирант, Alexander Yu. Bakulin, Postgraduate,
Воронежский институт высоких технологий, Voronezh Institute of High Technologies,
Воронеж, Российская Федерация. Voronezh, the Russian Federation.
e-mail: bakulin-aleksandr@mail.ru

Львович Яков Евсеевич, доктор технических наук, профессор, Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Российская Федерация.

e-mail: office@vvt.ru

ORCID: [0000-0002-7051-3763](https://orcid.org/0000-0002-7051-3763)

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

Преображенский Юрий Петрович, кандидат технических наук, доцент, Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Российская Федерация.

e-mail: petrovich@vvt.ru

ORCID: [0000-0002-9021-5106](https://orcid.org/0000-0002-9021-5106)

Preobrazhensky Yuri Petrovich, Candidate of Engineering Sciences, Docent, Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, the Russian Federation.

Букреев Антон Дмитриевич, аспирант, Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Российская Федерация.

Anton D. Bukreev, Postgraduate, Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, the Russian Federation.

*Статья поступила в редакцию 28.02.2025; одобрена после рецензирования 27.03.2025;
принята к публикации 04.04.2025.*

*The article was submitted 28.02.2025; approved after reviewing 27.03.2025;
accepted for publication 04.04.2025.*