

УДК 681.3

DOI: [10.26102/2310-6018/2021.33.2.005](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2021.33.2.005)

Многокритериальное моделирование выбора варианта структуры управления логистическим процессом в организационной системе

А.С. Борзова, Я.Е. Львович, В.В. Муха

*Московский государственный технический университет гражданской авиации,
Москва, Российская Федерация*

*Воронежский государственный технический университет,
Воронеж, Российская Федерация*

Резюме. В статье исследуется формализованное описание выбора варианта структуры цифрового управления логистическим процессом в организационной системе. Рассматриваются три типа структур взаимодействия цифровых платформ управляющего центра и компонентов логистического процесса: централизованная, децентрализованная, кластерная. Каждый вариант структуры соответствует определенной степени децентрализации цифрового управления и характеризуется достигнутыми значениями экономических, временных и надежностных показателей. Отмечено, что в этом случае задача выбора представляется многокритериальной. Принятие решения об оптимальном варианте структуры цифрового управления требует перехода к интегральному оцениванию на множестве показателей. Предлагается вместо априорной оценки экспертами весовых коэффициентов интегральной оценки ввести адаптивную схему диалога с экспертами, позволяющую построить итерационный алгоритм с тремя уровнями вопросно-ответного процесса диалога с экспертом. Формализация мнений с использованием знаковых характеристик и лингвистических переменных позволяет осуществить адаптивную настройку весовых коэффициентов интегральной оценки с использованием рандомизированной схемы организации диалога с экспертом. Окончательный выбор варианта структуры цифрового управления осуществляется по завершению итерационного процесса и перехода к сглаженной интегральной функции.

Ключевые слова: логистический процесс, организационная система, цифровое управление, цифровая платформа, многокритериальное моделирование.

Для цитирования: Борзова А.С., Львович Я.Е., Муха В.В. Многокритериальное моделирование выбора варианта структуры управления логистическим процессом в организационной системе. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2021;9(2). Доступно по: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=942> DOI: 10.26102/2310-6018/2021.33.2.005

Multicriteria choice modeling of a variant of the logistic process management structure in the organizational system

A.S. Borzova, Y.E. Lvovich, V.V. Mukha

*Moscow State Technical University of Civil Aviation,
Moscow Russian Federation*

*Voronezh State Technical University,
Voronezh, Russian Federation*

Abstract: The article examines a formalized choice description of a structural variant of digital management of the logistics process in the organizational system. Three types of interaction structures between digital platforms of the control center and components of the logistics process are considered: centralized, decentralized, and cluster. Each structural variant corresponds to a certain degree of decentralization of digital management and is characterized by the achieved values of economic, time,

and reliability indicators. It is shown that in this case, the selection problem is multicriterial. Deciding on the optimal variant of the digital control structure requires a transition to integrated assessment on a set of indicators. It is proposed to introduce an adaptive scheme of dialogue with experts, which allows constructing an iterative algorithm with three levels of the question-answer process of dialogue with an expert, instead of a priori assessment by experts of the integrated assessment weighting coefficients. Formalization of opinions using sign characteristics and linguistic variables allows for adaptive adjustment of the integral assessment weights using a randomized scheme for organizing a dialogue with an expert. The final choice of a structural variant of digital control is carried out upon iterative process completion and transition to a smoothed integral function.

Keywords: logistics process, organizational system, digital management, digital platform, multi-criteria modeling.

For citation: Borzova A.S., Lvovich Y.E., Mukha V.V. Multi-criteria modeling of the choice of a variant of the logistic process management structure in the organizational system. *Modeling, Optimization and Information Technology*.2021;9(2). Available from: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=942> DOI: 10.26102/2310-6018/2021.33.2.005 (In Russ).

Введение

На современном этапе активной цифровизации в организационных системах для большинства бизнес-процессов осуществляется переход к цифровому управлению [1,2]. Одним из таких процессов, для которого создан целый ряд цифровых платформ, является логистический процесс, представляющий собой последовательную совокупность действий по перемещению результатов деятельности между $O_i, i = \overline{1, I}$ компонентами организационной системы [3-5].

Рассмотрим цифровое управление логистическим процессом в организационной системе в виде многоуровневого комплекса. На верхнем уровне находится управляющий центр, который обеспечивает перемещение результатов деятельности между компонентами в пространстве и во времени. Средством цифрового управления на этом уровне является цифровая платформа класса ERP. Такая система поддерживает управление логистическим процессом на нижних уровнях. В том случае, когда на нижнем уровне каждый компонент оснащен цифровой платформой для автономного управления логистическим процессом, которая взаимодействует с цифровой платформой управляющего центра, имеем распределенную децентрализованную систему. При переходе на цифровое управление в организационных системах, требующее интеграции цифровых платформ, одной из существенных задач является установление баланса между полной децентрализацией и полной централизацией.

Полная централизация управления логистическим процессом приводит к потере автономности действий компонентов и нарушению структурных связей между ними в рамках единой организационной системы. Полная децентрализация влечет за собой потерю целостности логистического процесса. Оптимальный уровень централизации управления определяется выбором такого варианта межуровневой интеграции цифровых платформ управляющего центра и компонентов организационной системы в единую систему цифрового управления [6], при котором обеспечивается наилучшая эффективность логистического процесса по экономическим, временным и надежностным показателям $\Psi_j, j = \overline{1, J}$. Формализованное решение сформулированной задачи достигается за счет использования многокритериальной модели оптимизации [7].

Многокритериальная модель оптимизации выбора структуры цифрового управления логистическим процессом

Рассмотрим $n = \overline{1, N}$ вариантов структуры цифрового управления логистическим процессом в организационной системе. Многовариантность определяется разнообразием структур взаимодействия цифровых платформ, влияющих на степень децентрализации цифрового управления (Рисунок 1):

- централизованная структура (Рисунок 1, а);
- децентрализованная структура (Рисунок 1, б);
- кластерная структура (Рисунок 1, в).

Каждый из вариантов соответствует определенному уровню децентрализации управления за счет передачи управленческих действий на уровень цифровых платформ компонентов организационной системы. Число вариантов N зависит от количества кластеров на втором уровне $S_m, m = \overline{1, M}$ и количества компонентов логистического процесса $O_i, i = \overline{1, I}$, включаемых в m -й кластер – $i_m = \overline{1, I_m}, \sum_{m=1}^M I_m = I$. Используя модели позволяющие определить значения показателей $\Psi_j, j = \overline{1, J}$ в зависимости от варианта структуры вычисляем элементы $J \times N$ матрицы

$$\Psi_{jn} = \Psi_j(n), j = \overline{1, J}, n = \overline{1, N}. \quad (1)$$

Задача многокритериальной оптимизации на множестве показателей $\Psi_j, j = \overline{1, J}$ имеет следующий вид

$$\Psi_j(n) \rightarrow \underset{n = \overline{1, N}}{\text{extr}}, j = \overline{1, J}. \quad (2)$$

Для решения задачи (2) переходят к эквивалентной однокритериальной задаче

$$F(\Psi_j(n)) \rightarrow \underset{n = \overline{1, N}}{\text{extr}}, \quad (3)$$

где F – интегральная функция, построенная на множестве показателей $\Psi_j, j = \overline{1, J}$. Одной из распространенных структур интегральной функции (3) является средневзвешенная свертка [7]

$$F(\widehat{\Psi}_j(n)) = \sum_{j=1}^J \alpha_j \widehat{\Psi}_j(n), \quad (4)$$

где α_j – весовые коэффициенты;

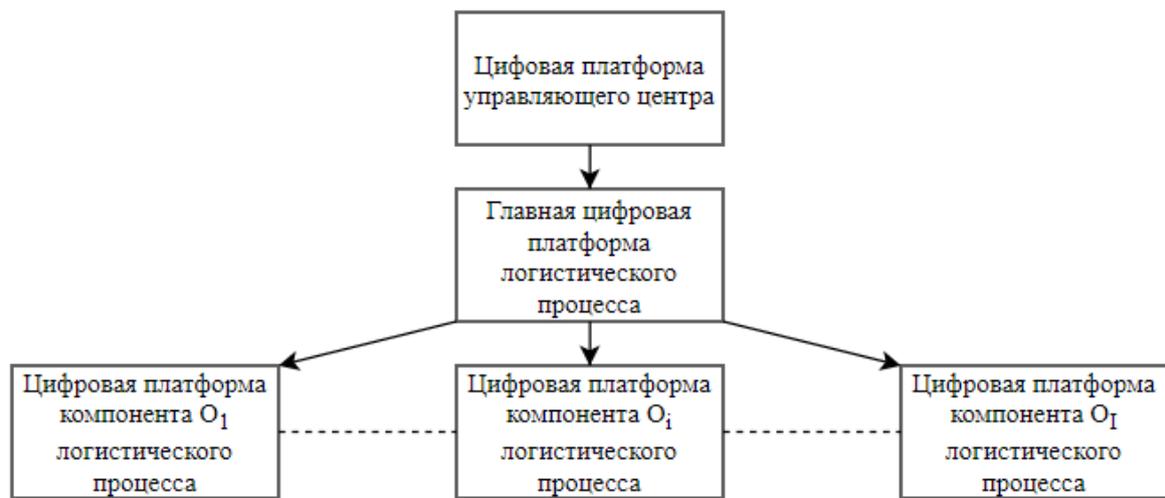
$$0 \leq \alpha_j \leq 1, \sum_{j=1}^J \alpha_j = 1;$$

$\widehat{\Psi}_j(n)$ – нормированное значение j -го показателя для n -го варианта интеграции;

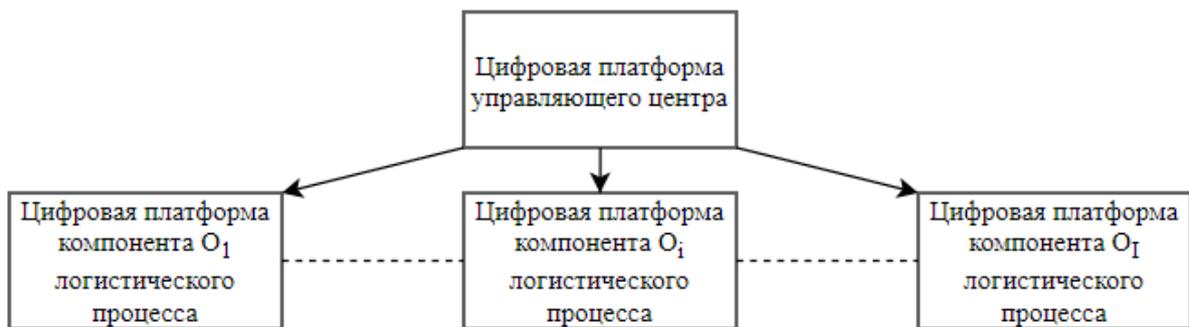
$$\widehat{\Psi}_j(n) = \frac{\Psi_j(n) - \Psi_j^{\min}}{\Psi_j^{\max} - \Psi_j^{\min}};$$

$$\Psi_j^{\max} = \max_{n = \overline{1, N}} \{\Psi_j(n)\}, \Psi_j^{\min} = \min_{n = \overline{1, N}} \{\Psi_j(n)\}.$$

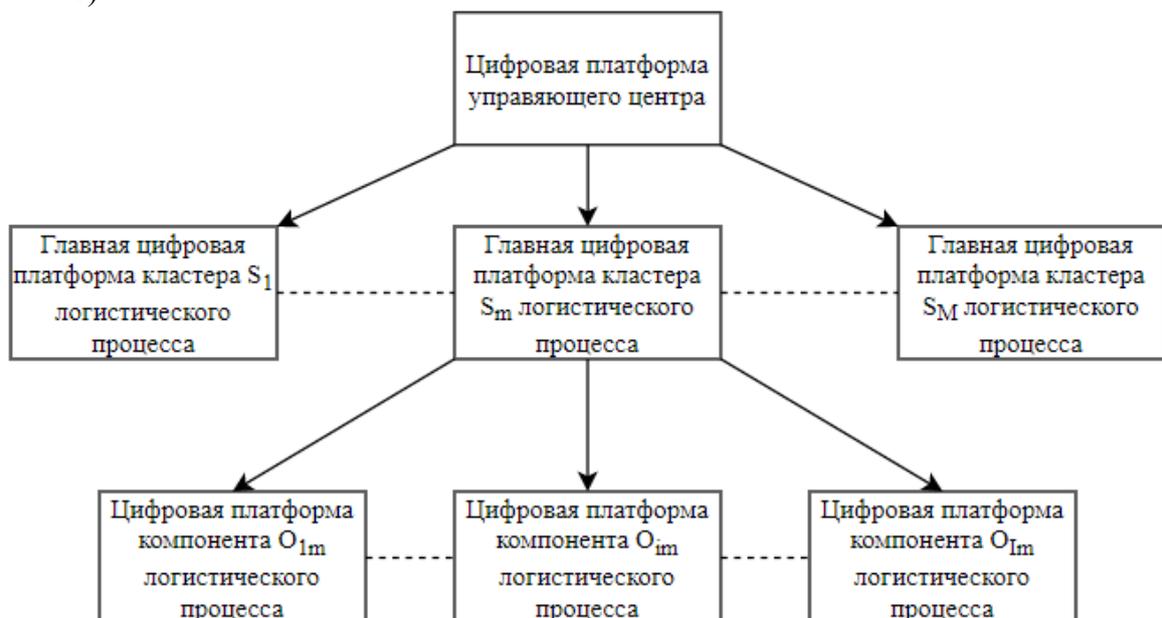
Выражение (4) будем рассматривать в качестве многокритериальной модели оптимизации выбора варианта структуры цифрового управления логистическим процессом при исходных данных (1). Принятие решений на основе модели (4) существенным образом зависит от выбора значений весовых коэффициентов. В большинстве случаев для этих целей используется экспертная информация [7]. Предлагается использовать адаптивный подход к накоплению и коррекции результатов экспертного оценивания [8]. В отличие от инвариантного итерационного алгоритма предлагается учитывать особенность исходных данных (1) и возможность построения многоуровневого вопросно-ответного процесса при организации диалога с экспертом.



а)



б)



в)

Рисунок 1 – Структура цифрового управления логистическим процессом в организационной системе

Figure 1 – The structure of digital management of the logistics process in the organizational system

Алгоритм принятия управленческих решений на основе многокритериальной модели выбора

Для построения алгоритма принятия управленческих решений используются следующие механизмы:

- рандомизации и сглаживания;
- организации итерационной схемы коррекции параметров рандомизированного поиска на основе формализации экспертной информации;
- организация многоуровневого вопросно-ответного процесса диалога с экспертом;
- перехода от рандомизированного поиска к сглаженной интегральной функции (4) и получения окончательного решения.

Рандомизация исходной задачи (3) осуществляется за счет введения дискретной случайной переменной \tilde{j} , принимающей значение на нумерационном множестве $j = \overline{1, J}$ с вероятностями $P_j, j = \overline{1, J}, \sum_{j=1}^J P_j = 1$.

Для перехода к сглаженной задаче определим математическое ожидание при случайных значениях номера показателя с вероятностью P_j :

$$m_j\{\widehat{\Psi}_j(n)\} = \sum_{j=1}^J P_j \widehat{\Psi}_j(n). \quad (5)$$

В отличие от функции (4), где значение весовых коэффициентов задается экспертами априори, для функции (5) вероятности $P_j, j = \overline{1, J}$ настраивается по итерационной схеме с номерами интеграции $k = 1, 2, \dots$

Итерационная схема представляет собой модифицированный двухуровневый адаптивный алгоритм [8]

$$P_j^{k+1} = \frac{P_j^k + \varepsilon^{k+1} \chi(A_3^k)}{1 + \varepsilon^{k+1}}, \quad (6)$$

$$\varepsilon^{k+1} = \varepsilon^k \exp\left(\frac{\mu^{k+1}}{k} \text{sign}[A_3^k A_3^{k-1}]\right), \quad (7)$$

где $\chi(\cdot)$ – функция, характеризующая направление поискового движения при переходе от значений вероятности P_j^k к значениям на $(k + 1)$ -й итерации P_j^{k+1} ;

A_3, μ_3 – экспертные оценки;

ε^{k+1} – величина шага на $(k + 1)$ -й итерации в направлении, определяемом функцией $\chi(A_3^k)$.

Числитель выражения (6) отражает поисковый процесс адаптивного алгоритма, знаменатель обеспечивает выполнение условия $\sum_{j=1}^J P_j^{k+1} = 1$. На втором уровне (7) регулируется величина шага движения с учетом экспертной информации на двух соседних итерациях и условия сходимости адаптивного алгоритма при $k \rightarrow \infty$ с вероятностью почти наверное к оптимальным значениям $P_j^*, j = \overline{1, J}$, определяющим значения весовых коэффициентов $\alpha_j, j = \overline{1, J}$ в интегральной целевой функции (4). При этом распределение вероятностей привлечения критериев к поиску на первом шаге ($k = 1$) считается равномерным $P_j^1 = \frac{1}{J}, j = \overline{1, J}$.

Предлагается ввести три уровня вопросно-ответного процесса диалога с экспертом, позволяющий определить оценки A_3, μ_3 , которые используются в адаптивном алгоритме (6), (7).

На первом уровне на k -й итерации случайным образом устанавливается номер варианта итерации $n = \overline{1, N}$. С этой целью вводится случайная дискретная величина $\tilde{n} = \overline{1, N}$ с распределением

$$P_n, n = \overline{1, N}. \quad (8)$$

Генерация конкретного случайного числа осуществляется с использованием последовательности случайных чисел ξ , равномерно распределенных на интервале (0,1) [9].

Пусть на k -й итерации случайная реализация величины \tilde{n} принимает значение n_1 . Тогда в матрице (1) выбирается столбец n_1 , элементами которого являются значения критериев

$$\Psi_j n_1, j = \overline{1, J}. \quad (9)$$

Эксперту задается вопрос: «какое из значений в множестве (9) удовлетворяет его в наименьшей степени?» Эксперт указывает номер j_1 . Его ответ формализуют следующим образом

$$A_{эj} = \begin{cases} 1, & \text{если } j = j_1, \\ -1, & \text{если } j \neq j_1, \end{cases} j = \overline{1, J}. \quad (10)$$

Тогда функция χ принимает значение: $\chi(A_{э}) = \begin{cases} 1, & \text{если } A_{э} > 0; \\ 0, & \text{если } A_{э} < 0 \end{cases}$.

Распределение случайного числа $\tilde{n} = \overline{1, N}$ на первой итерации принимается равномерным. Его коррекцию на последующих итерациях предлагается проводить в зависимости от текущего значения интегральной оценки (5) для n_1 -го столбца матрицы (1)

$$F_{n_1}^k = \sum_{j=1}^J P_j^k \Psi_{jn_1}. \quad (11)$$

Итерационная схема определяет движение от значений вероятностей P_n^k к значениям на $(k + 1)$ -й итерации – P_n^{k+1} . Это движение зависит от того, является ли (11) максимальной величиной на множестве оценок

$$F_n^k = \sum_{j=1}^J P_j^k \Psi_{jn} \quad \forall n = \overline{1, N}. \quad (12)$$

С этой целью вводится булева величина

$$B_{n_1}^k = \begin{cases} 1, & \text{если } F_{n_1}^k \text{ является максимальным значением на множестве (12),} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Коррекция значений вероятностей осуществляется следующим образом

$$P_{n_1}^{k+1} = \frac{P_{n_1}^k + \gamma B_{n_1}^k}{1 + \gamma B_{n_1}^k}, P_n^{k+1} = \frac{P_n^k}{1 + \gamma B_{n_1}^k} \quad \forall n \neq n_1, \quad (13)$$

где $0 < \gamma < 1$ – величина шага движения, задаваемая экспертом.

В этом случае при максимальном значении (11), исходя из (13) величина $P_{n_1}^{k+1}$ увеличивается, остальные P_n^{k+1} уменьшаются. Распределение становится не равномерным с выделением столбца n_1 . В противном случае на $(k + 1)$ -й итерации используется тоже распределение, что и на k -й итерации.

На втором уровне вопросно-ответного процесса эксперту задается вопрос: «В какой степени допустимо изменить значение $\Psi_{j_1 n_1}$?» Ответ формализуется с использованием следующих термов лингвистической переменной [10]:

$$T_1 = \left\{ \begin{array}{l} \text{увеличить} \\ \text{уменьшить} \end{array} \right\}, T_2 = \left\{ \begin{array}{l} \text{сильно} \\ \text{существенно} \\ \text{несколько} \\ \text{немного} \\ \text{мало} \end{array} \right\}.$$

На третьем уровне эксперту задается вопрос: «Какое значение F_{j1n1} является желаемым?» Его ответ $F_{j1n1}^{\text{Ж}}$ формализуется вычислением величины

$$F_{j1n1}^{\text{О}} = \frac{F_{j1n1}^{\text{Ж}}}{F_{j1n1}}$$

и определением значения μ_3 функции принадлежности для используемой лингвистической переменной [10] при выбранных значениях термов T_1 и T_2 .

Рассмотрим, каким образом перейти от рандомизированного поиска к сглаженной интегральной функции (4). С этой целью экспертом задается малая величина $\delta > 0$ и проверяется условие на k -ой итерации

$$|P_j^k - P_j^{k-1}| \leq \delta \quad \forall j = \overline{1, J}. \quad (14)$$

Если условие (14) выполняется, то принимается, что $\alpha_j = P_j^k$ и задача выбора варианта межуровневой интеграции цифровых платформ управления логистическим процессом в организационной системе осуществляется путем выбора варианта с максимальным значением интегральной оценки

$$F^{\text{max}} = \max_{n = \overline{1, N}} \left\{ \sum_{j=1}^n \alpha_j \Psi_{jn} \right\}.$$

Заключение

В условиях перехода к цифровому управлению в организационных системах особое значение имеет эффективность управления логистическим процессом. Такое управление осуществляется на основе взаимодействия цифровой платформы управляющего центра организационной системы и цифровых платформ компонентов логистического процесса. Разнообразие структур взаимодействия цифровых платформ и показателей эффективности цифрового управления целесообразно формализовать в рамках задачи многокритериального моделирования. Принятие управленческого решения осуществляется на множестве структур цифрового управления за счет перехода от локальных показателей к интегральной оценке и выбора по ее значениям оптимального варианта.

В отличие от априорного экспертного оценивания весовых коэффициентов интегральной функции более эффективным является адаптивное оценивание, основанное на механизмах рандомизации, сглаживания и организации многоуровневого вопросно-ответного процесса диалога с экспертом. Разработанный алгоритм является алгоритмом многокритериального моделирования, ориентированного на оптимальный выбор структуры цифрового управления логистическим процессом в организационной системе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вайл П., Ворнер С. *Цифровая трансформация бизнеса*. М.: Альпино Паблишер, 2010.

2. Гретченко А.И., Горохова Н.В. Цифровая платформа: новая бизнес-модель в экономике России. *Вестник российского экономического университета имени Г.В. Плеханова*, 2019;1(103):62-72.
3. Еловой И.А., Лебедева И.А. *Интегрированные логистические системы доставки ресурсов: (теория, методология, организация)*. Минск: Право и экономика, 2011.
4. Сердюкова Л.О., Баширадзе Р.Р., Пахомов А.В. Формирование инновационной транспортно-логистической системы на цифровой платформе. *Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки*. 2020;2:64-78.
5. Ильина Т.А., Кирина Д.Н. Цифровизация логистических процессов российских предприятий на основе внедрения технологии RFID. *Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки*. 2020;4:36-45.
6. Масленников В.В., Ляндау В.В., Калинина И.А. формирование системы цифрового управления организацией. *Вестник российского экономического университета имени Г.В. Плеханова*. 2019;6:116-123.
7. Батищев Д.И., Львович Я.Е., Фролов В.Н. *Оптимизация в САПР*. М.: Высшая школа, 1977.
8. Львович И.Я., Львович Я.Е., Фролов В.И. *Информационные технологии моделирования и оптимизации: краткая теория и приложения: монография*. Воронеж: ИПЦ «Научная книга», 2016.
9. Соболев И.М. *Численные методы Монте-Карло*. М.: Наука, 1973.
10. Львович Я.Е., Львович И.Я. *Принятие решений в экспертно-виртуальной среде: монография*. Воронеж: ИПЦ «Научная книга», 2010.

REFERENCES

1. Vile P., Warner S. *Digital transformation of business*. М.: Alpino Publisher, 2010.
2. Gretchenko A.I., Gorokhova N.V. Digital Platform: A New Business Model in the Russian Economy. *Bulletin of the Russian Economic University named after G.V. Plekhanov*, 2019;1(103):62-72.
3. Elovoy I.A., Lebedeva I.A. *Integrated logistics systems for the delivery of resources: (theory, methodology, organization)*. Minsk: Law and Economics, 2011.
4. Serdyukova L.O., Bashiradze R.R., Pakhomov A.V. Formation of an innovative transport and logistics system on a digital platform. *Scientific and technical statements of SPbSPU. Economic sciences*. 2020;2:64-78.
5. Ilyina T.A., Kirina D.N. Digitalization of the logistics processes of Russian enterprises based on the introduction of RFID technology. *Scientific and technical statements of SPbSPU. Economic sciences*. 2020;4:36-45.
6. Maslennikov V.V., Lyandau V.V., Kalinina I.A. formation of a digital management system for the organization. *Bulletin of the Russian Economic University named after G.V. Plekhanov*. 2019;6:116-123.
7. Batishchev D.I., Lvovich Y.E., Frolov V.N. *Optimization in CAD*. М.: Higher school, 1977.
8. Lvovich I.Y., Lvovich Y.E., Frolov V.I. *Information technologies for modeling and optimization: a brief theory and applications: monograph*. Voronezh: IPC "Scientific book", 2016.
9. Sobol I.M. *Numerical Monte Carlo Methods*. Moscow: Nauka, 1973.
10. Lvovich Y.E., Lvovich I.Y. *Decision making in expert virtual environment: monograph*. Voronezh: IPC "Scientific book", 2010.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Борзова Анжела Сергеевна, проректор, доктор технических наук, доцент, Московский государственный технический университет гражданской авиации, Москва, Российская Федерация.

e-mail: a.borzova@mstuca.aero

Львович Яков Евсеевич, заведующий кафедрой САПРИС, доктор технических наук, профессор, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Российская Федерация.

e-mail: d-lvovich@mail.ru

Муха Владимир Владимирович, аспирант, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Российская Федерация.

e-mail: vladimirmyxa@gmail.com

Angela S. Borzova, Vice-Rector, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russian Federation.

Yakov E. Lvovich, Head of the SAPRIS Department, Doctor of Technical Sciences, Professor, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation

Vladimir V. Mukha, postgraduate student, Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation.