

УДК 004.942:631.15

DOI: [10.26102/2310-6018/2024.46.3.030](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2024.46.3.030)

## ГИС-ориентированное классификационное моделирование при управлении в организационных системах с неоднородной структурой пространственных элементов

А.В. Линкина<sup>1</sup>, Н.А. Рындин<sup>2</sup>✉

<sup>1</sup>Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Российская Федерация

<sup>2</sup>Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Российская Федерация

**Резюме.** В статье приведены теоретические подходы к формализации задач оптимизации управления сложными организационными системами с учетом ГИС-ориентированного классификационного моделирования. Показано, что модели сложных систем с пространственными характеристиками можно отнести к стохастическим за счет широкой вариабельности входных параметров и их случайного распределения (как в пространстве, так и во времени). При этом уточняется, что под пространственными признаками можно рассматривать, собственно, как географическую привязку, так и любую другую атрибутивную информацию об объектах рассматриваемой системы. Решается задача представления модели сложной организационной системы аграрного профиля с учетом иерархии воздействующих на систему признаков. Уточнено, что особенностью рассматриваемой системы является зависимость устойчивости не только от структуры и параметров системы (как для линейных систем), но и от величины начального отклонения системы от положения равновесия, основанной на методе фазового пространства, широко применяемого в теории автоматического управления. Формализована задача нахождения оптимального (равновесного) состояния сложной организационной системы аграрного профиля, обоснован выбор значимых признаков, их совокупное влияние на целевую переменную. Определены 3 основных типа входных переменных. Изучено, что с учетом эффективности Парето при влиянии предикторов друг на друга построенная модель позволит находить оптимальные решения в многокритериальной системе с учетом ранжирования значимости и веса признаков. Отмечена возможность усложнения данной задачи тем, что при ГИС-ориентированном классификационном моделировании неоднородная структура пространственных элементов может решать обратную задачу – нахождение системы в минимуме в том случае, когда оптимальным вариантом будет считаться отсутствие влияния на систему отдельных входящих параметров при нивелировании другими входящими признаками.

**Ключевые слова:** оптимизация управления сложными системами, ГИС-ориентированный подход, классификационное моделирование, формализованная информационная модель, пространственные признаки.

**Для цитирования:** Линкина А.В., Рындин Н.А. ГИС-ориентированное классификационное моделирование при управлении в организационных системах с неоднородной структурой пространственных элементов. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии.* 2024;12(3). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1702> DOI: 10.26102/2310-6018/2024.46.3.030

## GIS-oriented classification modeling for management in organizational systems with a heterogeneous structure of spatial elements

A.V. Linkina, N.A. Ryndin ✉

*Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, the Russian Federation*  
*Voronezh State Technical University, Voronezh, the Russian Federation*

**Abstract.** The article presents theoretical approaches to formalizing problems of optimizing the management of complex organizational systems, taking into account GIS-based classification modeling. It is shown that models of complex systems with spatial characteristics can be classified as stochastic due to the wide variability of input parameters and their random distribution (both in space and time). At the same time, it is clarified that spatial characteristics can be considered, in fact, both geographic reference and any other attribute information about the objects of the system under consideration. The problem of presenting a model of a complex organizational system of an agricultural profile is solved, taking into account the hierarchy of characteristics affecting the system. It is clarified that a feature of the system under consideration is the dependence of stability not only on the structure and parameters of the system (as for linear systems), but also on the magnitude of the initial deviation of the system from the equilibrium position, based on the phase space method, widely used in the theory of automatic control. The problem of finding the optimal (equilibrium) state of a complex organizational system of an agricultural profile is formalized, the choice of significant characteristics and their combined influence on the target variable are justified. 3 main types of input variables are defined. It has been studied that, taking into account the Pareto efficiency when predictors influence each other, the constructed model will make it possible to find optimal solutions in a multicriteria system, taking into account the ranking of the significance and weight of features. The possibility of complicating this problem is noted by the fact that with GIS-oriented classification modeling, the heterogeneous structure of spatial elements can solve the inverse problem - finding the system at a minimum in the case where the optimal option is considered to be the absence of influence on the system of individual input parameters when leveled by other input features.

**Keywords:** optimization of management of complex systems, GIS-oriented approach, classification modeling, formalized information model, spatial features.

**For citation:** Linkina A.V., Ryndin N.A. GIS-oriented classification modeling for management in organizational systems with a heterogeneous structure of spatial elements. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2024;12(3). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1702> DOI: 10.26102/2310-6018/2024.46.3.030 (In Russ.).

## Введение

Актуальность повышения качества управления сложных организационных систем обусловлена постоянным увеличением многообразия решаемых задач, а также экспоненциальным ростом получаемых, хранимых и обрабатываемых данных на всех этапах реализации системы.

В организационных системах, в свою очередь, можно выделить следующие классы. Первые представляют собой совокупность однородных объектов под управляющим центром системы для выполнения заданных целей. Вторые основаны на взаимодействии неоднородных подсистем, имеющих кроме внешнего воздействия окружающей среды на элементы и внутреннего воздействия – между самими подсистемами и управляющим центром, также и территориальное взаимодействие – с другими организационными системами, географически связанными между собой.

В настоящее время большинством исследователей данной проблематики отмечается, что «управление в организационных системах, обеспечивающее выполнение заданных целей, является либо неавтоматизированным, либо частично автоматизированным за счет использования интегрированных систем поддержки принятия управленческих решений и экспертных систем» [1].

Проблемы организации и управления сложных систем с неоднородными геопространственными признаками широко исследуются при поиске решений задач агропромышленного комплекса. Очевидно, что в данном направлении моделирование и

оптимизация рассматриваемых моделей выполняет основополагающую концептуальную роль, отвечающую задачам обеспечения национального продовольственного суверенитета нашей страны. В соответствии с национальной Доктриной продовольственной безопасности Российской Федерации (утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 21 января 2020 года № 20) наряду с необходимостью устойчивого развития аграрного сектора отмечается главенствующая роль цифровизации сельского хозяйства, в том числе развитие таких элементов, как автоматизация производства, применение экспертных систем, элементов искусственного интеллекта, в том числе машинного обучения.

### Материалы и методы

Многоаспектность входящих в подобные системы элементов обуславливает необходимость разработки классификационных моделей. Модели сложных систем с пространственными характеристиками можно отнести к стохастическим за счет широкой вариабельности входных параметров и их случайному распределению (как в пространстве, так и во времени). Под пространственными признаками в данном случае стоит понимать как собственно пространственную информацию, так и любую другую информацию об объектах системы, расположенных в пространстве (т. н. атрибутивную информацию). Пространством в данном случае можно называть не только трехмерное пространство, в котором мы существуем, но и любое абстрактное пространство произвольной размерности [2].

В качестве примера таких признаков можно отметить свойства рельефа земельного участка, его климатические и погодные характеристики, урожайность основных сельскохозяйственных культур, почвенные условия и т. п.

Агроландшафт в отличие от саморегулируемого природного ландшафта функционирует в антропогенно-заданном режиме и его устойчивость, поскольку данная система является нелинейной, зависит от множества внутренних и внешних факторов, динамически изменяющихся с течением времени. С точки зрения теории оптимизации в качестве наименьшей неделимой единицы сложной системы можно рассматривать элементарный ареал агроландшафта (ЭАА), являющийся пространственной структурной единицей, обладающей множеством параметров как природного, так и антропогенного характера. Близкие по характеристикам ЭАА объединяются в более крупные группы, позволяющие оптимальным способом решать различные производственные задачи с учетом необходимых социально-экономических, технических и природно-хозяйственных требований. Обеспечение требуемых показателей качества функционирования сложных систем, связанное с необходимостью изучения протекания стохастических процессов в исследуемых и проектируемых системах  $S$ , требует необходимости решения задач классификационного моделирования.

В общем виде иерархию признаков, воздействующих на систему, можно представить следующим образом (Рисунок 1):



Рисунок 1 – Иерархия воздействующих на систему признаков  
 Figure 1 – Hierarchy of signs influencing the system

Тогда в общем виде модель нашей системы можно представить в следующем виде:

$$\frac{dS_i}{dt} = \phi(S_i; \alpha_1 \dots \alpha_n; \beta_1 \dots \beta_m), \text{ при } t = \overline{1, T}, \quad (1)$$

где  $S_i$  – состояние системы в произвольный момент времени  $t$ ,  $\alpha$  – множество параметров внутренней среды, влияющей на равновесное состояние системы;  $\beta$  – множество возмущающих входных воздействий внешней среды в произвольный момент времени  $t$ .

Отметим, что в силу разнообразия и неопределенности воздействующих возмущений модель рассматриваемой системы в общем виде будет определяться нелинейным уравнением.

Вместе с тем, особенностью рассматриваемой системы является зависимость устойчивости нелинейной системы не только от структуры и параметров системы (как для линейных систем), но и от величины начального отклонения системы от положения равновесия. При условии начального отклонения системы  $S$  от равновесного состояния в теории автоматического управления широко применяется метод фазового пространства, суть которого состоит в нахождении системы в одном и только в одном состоянии из множества всех возможных состояний системы с учетом разных начальных условий и воздействующих параметров [2]. Это связано с тем фактом, что антропогенные агроландшафты изначально находятся в условиях дисбаланса, вызванного как природным разнообразием морфологических и параметрических признаков, так и воздействием хозяйственной деятельности человека на территории. Именно поэтому, экологическая оптимизация агропромышленного комплекса является одной из центральных задач обеспечения поддержания устойчивости данного класса систем.

Как было отмечено выше, исследуемая система обладает множеством разнородных классификационных признаков, при этом часть из них не всегда строго формализована вследствие специфики рассматриваемой отрасли. Поэтому важным значением обладает непосредственная задача разработки методов и алгоритмов решения задач в данных организационных системах. Большую роль приобретает в вопросах управления сложными системами использование элементов машинного обучения, одной из основополагающих целей которого является решение задач классификации. Для построения таких моделей требуется в качестве обучающей выборки набор с множеством данных. При этом исследователями [3] отмечается, что в организационных системах с неоднородной структурой пространственных элементов, при использовании ГИС-технологий для построения различных моделей и аналитики, возникает ряд проблем, связанных с решением задач классификации. Это связано с тем, что построение традиционных математических моделей либо затруднено, либо сопряжено со значительными затратами, однако сама среда ГИС достаточно хорошо приспособлена для внедрения методов искусственного интеллекта и экспертных систем.

Интеграция основанных на технологии машинного обучения методов решения слабоформализованных задач и геоинформационных систем позволяет существенно повысить качество и скорость обработки пространственных данных.

С учетом (1) и определенном нами выше состоянии устойчивости системы система поддержки принятия решения на основе классификационной модели нейросети в качестве целевой переменной будет учитывать равновесное состояние системы (параметр стремится к  $max$ ), а в качестве предикатов – множество входящих в систему переменных параметров внутренней среды  $\alpha_n$  при  $n = \overline{1, N}$  и внешней среды  $\beta_m$  при  $m = \overline{1, M}$ . В данном виде модель будет представлять собой не бинарную, а

мультиклассовую классификацию. Процедура мультиклассового моделирования отличается многокритериальностью признаков оптимального варианта.

Ранее авторами данной работы была рассмотрена [4] возможность применения компьютерного зрения при распознавании картографического материала и установлении типа агроландшафта для получения высокопродуктивных урожаев. Система поддержки принятия решения, определяющая оптимальный выбор варианта при решении задачи классификации в данном случае, относилась к решению задачи многомерной автоматической классификации, при которой осуществлялось разделение картографических изображений на классы, обладающие типичными характеристиками (признаками) [4].

Одной из отличительных особенностей классификационного моделирования в геоинформационных системах является наличие специфики применения в данной предметной области, а именно на этапе математического моделирования необходимо учесть следующее:

- результаты реализации моделей не подлежат картографическому моделированию;
- разработанная модель может быть картографирована, но на этапе реализации математической модели пространственная характеристика не учитывается;
- геопространственные данные являются определяющими параметрами при реализации полученной модели.

В задачах формирования математических моделей в геоинформационных системах методы классификации могут использоваться в нескольких направлениях, таких как типологическое районирование, временной анализ, выявление определяющих признаков.

### Результаты исследования и обсуждение

Задача моделирования равновесного состояния системы (т. е., по сути, задача нахождения оптимального варианта) аграрного профиля с учетом пространственной привязки будет решаться следующим образом.

**Формальная постановка задачи.** Пусть существует набор характеристик системы внешнего и внутреннего характера, при которых она будет находиться в максимально устойчивом (равновесном состоянии). Тогда при изменении любого из параметров системы со стороны экспертной системы необходимо пропорциональное изменение одного или совокупности нескольких признаков для сохранения системы в устойчивом состоянии. При этом необходимо учитывать, что вес признаков будет неодинаковым. На практике данная задача может представлять собой ситуацию, при которой аграрному предприятию будет необходимо добиться максимальной величины продуктивности угодий при изменяемых с течением времени внешних воздействиях на систему (например, погодных характеристик) за счет возможности варьирования других факторов среды (например, за счет регулирования внесения питательных веществ или землеустроительных мероприятий и т. п.) [5].

Управление в такой системе может состоять из нескольких локальных подсистем, каждая из которых может нивелировать негативное влияние того или иного фактора, приводящего систему в неустойчивое положение. При этом нами учитывалось, что ЭАА может принадлежать к одному из 5 типов [6], тогда дополнительно необходимо решить задачу классификационной типологии, которая по сути представляет собой сопоставление каждому объекту из определенного набора вектора значений признаков. При этом отнесение указанного объекта к определенному типу будет осуществляться на основе его сравнения с типичными объектами конкретного класса из нескольких и

выбора ближайшего. Поскольку эта задача связана с обработкой изображения (графическое представление пространственной информации при картографировании), то мерой близости в данном случае будет являться коэффициент корреляции.

**Выбор значимых признаков.** На этом шаге необходимо провести анализ значимости целевой переменной и влияния на нее совокупности предикторов. В нашем случае входные переменные будут представлены следующими типами:

- бинарные (принимают всего два значения – 0 и 1, где 0 обозначим за «нет», а 1 – за «да»);
- номинальные, которые ограничены количеством уровней (например, 5 типов агроландшафтов – 5 уровней, число ротаций в севообороте – например, первый тип ЭЭА предполагает возможность использования 7-польного пропашного севооборота, а пятый тип агроландшафта предполагает 3-польный почвозащитный севооборот);
- количественные непрерывные – произвольные отрицательные и положительные числовые значения.

На данном этапе стоит отметить, что увеличение количества предикторов (а под факторами, влияющими на устойчивость, можно рассматривать значительное количество признаков) не всегда способствует улучшению модели, особенно с учетом того, что она является многоклассовой [7].

В этом случае имеет смысл воспользоваться известными способами сокращения количества предикторов [8]:

- фильтрации – когда модель использует только те предикторы, которые соответствуют каким-либо критериям (в т. ч. предиктор может быть индивидуально оценен);
- обертки – модель использует процедуры, которые либо удаляют, либо добавляют предикторы для поиска оптимальной комбинации, оптимизирующей эффективность модели.

**Описание задачи.** Объекты метода.

1) Данные – в данной задаче они могут быть представлены в форме нами ранее рассмотренной при описании выбора значимых признаков (т. к. бинарные, номинальные и количественные непрерывные).

2) Многообразие – поскольку при решении задач оптимизации целевая функция зависит от множества комбинаций сочетания входных внешних и внутренних факторов.

Система математических моделей при решении поставленной задачи будет характеризоваться:

- мерой объема возможного отклонения от оптимального состояния (связанная с возможным наступлением неблагоприятных событий безотносительно к вероятности наступления данного неблагоприятного события, например, вероятность гибели урожая культур вследствие погодных факторов – заморозков, аномальной жары и т. п.);
- мерой информационной недостаточности, зависящей от потери управляемости системой;
- мерой чувствительности равновесного состояния к изменению внутренних и внешних параметров среды (по сути связанной с ранжированием значимости признаков);
- мерой изменчивости целевой переменной от предикторов, т. е. колебания ключевого показателя относительно ожидаемого субъектом значения.

С учетом вышесказанного и следующим обозначением:

$S_i \in S$  при  $i = \overline{1, I}$  – произвольное состояние системы на выборе всех возможных состояний в произвольный момент времени  $t$ ;

$p_i \in P$  при  $i = \overline{1, P}$ ,  $p = \alpha \cup \beta$  и с учетом (1) – совокупность признаков модели с учетом внутреннего и внешнего воздействия среды;

$\sigma_i \in \Sigma$  при  $i = \overline{1, T}$  – совокупность связей модели между ее параметрами, т. е. ее структура;

имеем  $N = \{N_{i...N_{p\sigma}}\}$ , позволяющую по входам системы (совокупности внешних и внутренних признаков) с той или иной определенностью находить  $S_i \in S$ ,  $i = \overline{1, T}$  на интервале  $t = \overline{1, T}$ :

$$S(i+1) = N(P, \Sigma, S, T). \quad (2)$$

С учетом эффективности Парето при влиянии предикторов друг на друга построенная модель позволит находить оптимальные решения в многокритериальной системе с учетом ранжирования значимости и веса признаков [9].

Наконец, стоит отметить возможность усложнения данной задачи [10] тем, что при ГИС-ориентированном классификационном моделировании неоднородная структура пространственных элементов может решать обратную задачу – нахождение системы в экстремуме с противоположным значением, т. е. минимуме, однако в качестве целевой переменной уже будет выступать не устойчивость системы, а такое ее состояние, которое должно оцениваться с точки зрения минимизации неблагоприятных значений. Однако общий принцип нахождения оптимального варианта не изменится, а лишь скорректируются учет и значение предикторов с точки зрения отрицательных характеристик.

### Заключение

Таким образом, была получена модель оптимизации управления аграрной средой с точки зрения учета совокупности множества разнородных признаков, в том числе и с пространственно-временной привязкой, с учетом классификации разнородных внешних и внутренних признаков, воздействующих на систему. Кроме того, было показано, что управление в такой системе может состоять из нескольких локальных подсистем, каждая из которых может нивелировать негативное влияние того или иного фактора, приводящего систему в неустойчивое положение.

Представление средствами ГИС многомерных данных произвольной природы основано на построении формализованных моделей оптимизации состояния системы с учетом их иерархических признаков. Такой подход обеспечивает возможность анализировать и прогнозировать развитие системы, учитывая различные факторы и взаимосвязи между ее элементами. Благодаря такому моделированию можно своевременно выявлять проблемные зоны и разрабатывать эффективные меры для их устранения, что в итоге приводит к повышению стабильности и успешности функционирования организационной системы.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Львович Я.Е., Рындин Н.А., Сахаров Ю.С. Оптимизация распределения ресурсного обеспечения развития цифровой среды управления в организационных системах. *Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление*. 2021;(4):106–114. <https://doi.org/10.18137/RNU.V9187.21.04.P.106>  
Lvovich Ya.E., Ryndin N.A., Sakharov Yu.S. Optimization of the distribution of resource provision for the development of a digital management environment in organizational systems. *Vestnik Rossiiskogo novogo universiteta. Seriya: Slozhnye sistemy: modeli, analiz i upravlenie = Vestnik of Russian New University. Series: Complex Systems: Models, Analysis, Management*. 2021;(4):106–114. (In Russ.). <https://doi.org/10.18137/RNU.V9187.21.04.P.106>

2. Yuronen Y.P., Yuronen E.A., Ivanov V.V., Kovalev I.V., Zelenkov P.V. The concept of creation of information system for environmental monitoring based on modern GIS-technologies and earth remote sensing data. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: International Scientific and Research Conference on Topical Issues in Aeronautics and Astronautics: Volume 94, 06–10 April 2015, Krasnoyarsk, Russia*. Institute of Physics Publishing; 2015. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/94/1/012023>
3. Хворова Л.А. Оптимизация процесса структурно-параметрической идентификации моделей продуктивности агроэкосистем. *Известия Алтайского государственного университета*. 2012;(1-1):171–175.  
Khvorova L.A. Optimization of the Process of Structural and Parametric Identification of the Agroecosystems Productivity Models. *Izvestiya Altaiskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2012;(1-1):171–175. (In Russ.).
4. Линкина А.В. Применение машинного обучения при организации адаптивно-ландшафтных систем земледелия. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2023;85(4):128–132.  
Linkina A.V. Application of machine learning in the organisation of adaptive-landscape farming systems. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologii = Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2023;85(4):128–132. (In Russ.).
5. Гринева Н.В., Михайлова С.С., Вилкул А.А. Сравнительный анализ методов кластеризации для графовых данных. *Нейрокомпьютеры: разработка, применение*. 2023;25(4):32–44. <https://doi.org/10.18127/j19998554-202304-05>  
Grineva N.V., Mikhaylova S.S., Vilkul A.A. Comparative analysis of clustering methods for graph data. *Neurocomputers*. 2023;25(4):32–44. (In Russ.). <https://doi.org/10.18127/j19998554-202304-05>
6. Линкина А.В., Лопырев М.И.; правообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I». *Шкалы нормирования соотношения земельных угодий в агроландшафтах Центрального Черноземья: № 2019620803 заявл. 15.05.2019; опубл. 30.05.2019*. Свидетельство о регистрации базы данных RU 2019620916.  
Linkina A.V., Lopyrev M.I.; rightholder Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I". *Shkaly normirovaniya sootnosheniya zemel'nykh ugodii v agrolandshaftakh Tsentral'nogo Chernozem'ya: № 2019620803 yayavl. 15.05.2019; opubl. 30.05.2019*. Svidetel'stvo o registratsii bazy dannykh RU 2019620916.
7. John G.H., Kohavi R., Pfleger K. Irrelevant Features and the Subset Selection Problem. In: *Machine Learning Proceedings 1994: Proceedings of the Eleventh International Conference, 10–13 July 1994, New Brunswick, USA*. Elsevier; 1994. pp. 121–129. <https://doi.org/10.1016/B978-1-55860-335-6.50023-4>
8. Преображенский А.П., Львович Я.Е. Проблемы рейтингового управления организационными системами. В сборнике: *Инновационные доминанты социально-трудовой сферы: экономика и управление: Материалы ежегодной международной научно-практической конференции по вопросам экономики и управления социально-трудовой сферой (24 заседание), посвященной 100-летию со дня рождения В.Н. Эйтингона, 24 мая 2024 года, Воронеж, Россия*. Воронеж: Истоки; 2024. С. 214–217.  
Preobrazhenskii A.P., L'vovich Ya.E. Problemy reitingovogo upravleniya organizatsionnymi sistemami. In: *Innovatsionnye dominanty sotsial'no-trudovoi sfery*:



- ekonomika i upravlenie: Materialy ezhegodnoi mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii po voprosam ekonomiki i upravleniya sotsial'no-trudovoi sferoi (24 zasedanie), posvyashchennoi 100-letiyu so dnya rozhdeniya V.N. Eitingona, 24 May 2024, Voronezh, Russia. Voronezh: Istoki; 2024. pp. 214–217. (In Russ.).*
9. Воронин А.В. Нечеткие отношения при классификации пространственных объектов в геоинформационной системе. *Нейрокомпьютеры: разработка, применение*. 2022;24(2):40–46.  
Voronin A.V. Nechetkie otnosheniya pri klassifikatsii prostranstvennykh ob"ektov v geoinformatsionnoi sisteme. *Neirokomp'yutery: razrabotka, primenenie = Neurocomputers*. 2022;24(2):40–46. (In Russ.).
10. Yuronen Y.P., Bakhtina A.V., Yuronen E.A. Engineering of GIS for environmental monitoring of mining landscapes. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2022;1230(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1230/1/012024>

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Линкина Анна Вячеславовна**, старший преподаватель, Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Российская Федерация. **Anna V. Linkina**, Senior Lecturer, Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, the Russian Federation.  
*e-mail*: [anna.linkina@rambler.ru](mailto:anna.linkina@rambler.ru)  
ORCID: [0000-0002-8429-1292](https://orcid.org/0000-0002-8429-1292)

**Рындин Никита Александрович**, доктор технических наук, профессор, Воронежский государственный технический университет, Воронеж, Российская Федерация. **Nikita A. Ryndin**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Voronezh State Technical University, Voronezh, the Russian Federation.  
*e-mail*: [nikita.ryndin@gmail.com](mailto:nikita.ryndin@gmail.com)  
ORCID: [0000-0002-0774-2352](https://orcid.org/0000-0002-0774-2352)

*Статья поступила в редакцию 17.09.2024; одобрена после рецензирования 25.09.2024; принята к публикации 27.09.2024.*

*The article was submitted 17.09.2024; approved after reviewing 25.09.2024; accepted for publication 27.09.2024.*