

УДК 519.168

DOI: [10.26102/2310-6018/2024.47.4.041](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2024.47.4.041)

## Структурное моделирование при управлении в организационных системах с неоднородной структурой пространственных элементов

А.В. Линкина✉

*Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Российская Федерация*

**Резюме.** В статье рассматривается процесс структурного моделирования при управлении в организационных системах с неоднородной структурой пространственных элементов. Показано, что исследуемые объекты относятся к территориально распределенным организационным системам. Их особенностью является разнообразие пространственных элементов в рамках ограниченной территории, существенно влияющее на показатели эффективного функционирования деятельности среды. Выделены три класса структурных моделей: объектного, системного и процессного уровней. Детально рассмотрены процессы структурного моделирования организационной системы, управления ею, принятия управленческих решений. Определено, что структурная модель организационной системы отражает взаимодействие управляющего центра и объектов с неоднородной структурой пространственных элементов с учетом территориально распределенной среды, объединяющей объекты в организационное целое. Структурная модель системы управления ориентирована на сбалансированное взаимодействие традиционной подсистемы управления на основе экспертных мнений и подсистемы поддержки принятия решения на основе оптимизации ресурсораспределительного, трансформационного и вариационного процессов. Структурная модель процессного уровня сформирована как инвариантная последовательность алгоритмических действий при принятии управленческих решений. Обосновано, что для обеспечения требований управляющего центра необходимо объединить алгоритмические действия в рамках следующих этапов: идентификации классификационных признаков неоднородности структуры пространственных элементов объектов, экспертного оценивания количественных параметров для формирования модели многовариантного выбора, генерации множества доминирующих вариантов управленческих решений, экспертного выбора на сформированном множестве.

**Ключевые слова:** организационная система, управление, неоднородность структуры пространственных элементов, структурное моделирование, экспертно-оптимизационное моделирование.

**Для цитирования:** Линкина А.В. Структурное моделирование при управлении в организационных системах с неоднородной структурой пространственных элементов. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии.* 2024;12(2). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1785> DOI: 10.26102/2310-6018/2024.47.4.041

## Structural modeling for management in organizational systems with a heterogeneous structure of spatial elements

A.V. Linkina✉

*Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, the Russian Federation*

**Abstract.** The article discusses the process of structural modeling in management in organizational systems with a heterogeneous structure of spatial elements. It is shown that the objects under study belong to territorially distributed organizational systems. Their peculiarity is the variety of spatial elements within a limited territory, which significantly influence the indicators of the effective functioning of the activity environment. Three classes of structural models are identified: object, system

and process levels. The processes of structural modeling of the organizational system, its management, and management decision-making are examined in detail. It has been determined that the structural model of the organizational system reflects the interaction of the control center, objects with a heterogeneous structure of spatial elements, and a geographically distributed environment that unites objects into an organizational whole. The structural model of the management system is focused on the balanced interaction of the traditional management subsystem based on expert opinions and the decision support subsystem based on optimization of resource distribution, transformation and variation processes. The structural model of the process level is formed as an invariant sequence of algorithmic actions when making management decisions. It is substantiated that in order to meet the requirements of the control center it is necessary to combine algorithmic actions within the following stages: identification of classification signs of heterogeneity in the structure of spatial elements of objects, expert assessment of quantitative parameters for the formation of a multivariate choice model, generation of options for management decisions, expert selection on the generated set.

**Keywords:** organizational system, management, heterogeneity of the structure of spatial elements, structural modeling, expert optimization modeling.

**For citation:** Linkina A.V. Structural modeling for management in organizational systems with a heterogeneous structure of spatial elements. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2024;12(2). (In Russ.). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1785> DOI: 10.26102/2310-6018/2024.47.4.041

## Введение

Для целого ряда социально-экономических систем структура и показатели эффективности зависят от географической привязки объектов  $O_i$ ,  $i = \overline{1, I}$ , которые объединены в организационное целое в соответствии с требованиями управляющего центра. Такие системы принято называть территориально распределенными организационными системами [1]. Среди этих систем выделим отдельный класс, для которого характерна зависимость показателей эффективности функционирования деятельности среды объектов  $O_i$  от разнообразия структуры пространственных элементов, образующих ограниченную территорию  $O_i$ . В [2] предложено определять такой класс, как организационные системы с неоднородной структурой пространственных элементов (ОСНСПЭ). Там же ([2]) показано, что принятие решений при управлении в ОСНСПЭ зависит от структурной модели  $i$ -го объекта системы.

Эта модель характеризует объектный уровень структуризации. Для эффективного управления организационной системой в целом требуется сформировать структурные модели на следующих уровнях [3, 4]:

- взаимодействия управляющего центра и объектов;
- формирования системы управления, включающей подсистему поддержки принятия решений;
- процесса принятия управленческих решений.

Предложенные в [3, 4] структурные модели системного и процессного уровней не отражают особенности, свойственные процессам управления в ОСНСПЭ:

- зависимость показателей эффективности деятельности объектов системы от классификационных признаков, определяющих разнообразие структур пространственных элементов;
- необходимость формализации задачи классификации структур пространственных элементов на основе ГИС-ориентированной информации;
- требование интеграции ГИС-ориентированной и экспертной информации при принятии управленческих решений на основе оптимизационных моделей;

– учет ресурсораспределительных, трансформационных и вариационных механизмов при управлении эффективностью функционирования и развития объектов системы;

– влияние разнообразия структур пространственных элементов на выбор оптимальных вариантов соисполняемости видов деятельности, выполняемых объектами в определенные временные периоды.

Поэтому целью настоящей статьи является разработка комплекса структурных моделей, учитывающих особенности управления в ОСНСПЭ. Для достижения указанной цели решены следующие задачи:

1. Формирование структурных моделей системных уровней.
2. Формирование структурной модели процессного уровня.

## Материалы и методы

### *Формирование структуры моделей на системном уровне*

На системном уровне в первую очередь рассмотрим структурную модель взаимодействия основных компонентов ОСНСПЭ:

– управляющий центр;

– объекты организационной системы  $O_i, i = \overline{1, I}$ , объединенные в организационное целое управляющим центром, где  $i = \overline{1, I}$  – нумерационное множество объектов;

– территориально распределенная между  $O_i, i = \overline{1, I}$  объектами деятельностная среда, показатели эффективности функционирования которой  $f_j, j = \overline{1, J}$ , где  $j = \overline{1, J}$  – нумерационное множество показателей эффективности, зависят от ресурсного обеспечения  $R$  и структуры пространственных элементов  $S_i, i = \overline{1, I}$  – мониторинговая среда, обеспечивающая обратную связь по достигнутому уровню показателей  $f_j, j = \overline{1, J}$  с управляющим центром.

Структурная модель на объектном уровне определяет зависимость структуры каждого объекта  $S_i, i = \overline{1, m}$  от классификации пространственных элементов по типу, категории и состоянию:

$$S_i = F(m_i, n_i, g_i), \quad (1)$$

где  $m = \overline{1, M}$  – нумерационное множество типов пространственных элементов;  $n = \overline{1, N}$  – нумерационное множество категорий, в рамках которого дифференцируются пространственные элементы определенного типа;  $g = \overline{1, G}$  – нумерационное множество, определяющее шкалу состояний пространственных элементов.

Кроме того, функционирование деятельностной среды зависит от выбора набора видов деятельности, которые варьируются с учетом временных периодов  $t = \overline{1, T}$ :

$$d_i(t, S_i) = \overline{1, \overline{D}_i}, \overline{D}_i \in \overline{1, D}, \quad (2)$$

где  $d = \overline{1, D}$  – нумерационное множество варьируемых видов деятельности в ОСНСПЭ;  $d_i(t, S_i) = \overline{1, \overline{D}_i}$  – нумерационное подмножество видов деятельности  $i$ -го объекта в период времени  $t = \overline{1, T}$  при определенной структуре пространственных элементов  $S_i$ .

Охарактеризуем направленность связей между указанными выше компонентами в структурной модели ОСНСПЭ на:

– трансфер требований управляющего центра по интегральному объему ресурсного обеспечения  $R^0$ , объему результатов деятельности  $X^0$ , требований к показателям эффективности

$$f_j(R) \geq f_j^p, j = \overline{1, J}; \quad (3)$$

- учет структуры  $S_i, i = \overline{1, I}$  пространственных элементов для каждого объекта  $O_i, i = \overline{1, I}$ ;
- выделение части интегрального объема ресурсного обеспечения для реализации мероприятий по трансформации структуры пространственных элементов  $R^T$ ;
- установление параметров динамической вариации видов деятельности (2) при заданном горизонте планирования  $t = \overline{1, T}$ ;
- учет мониторинговой информации о достигнутых значениях объемов деятельности  $X^m$ , затраченных ресурсов  $V^m(t)$  и показателей эффективности  $f_j^m(X), j = \overline{1, J}, t = \overline{1, T}$ .

Структурная модель взаимодействия компонентов ОСНСПЭ приведена на Рисунке 1.

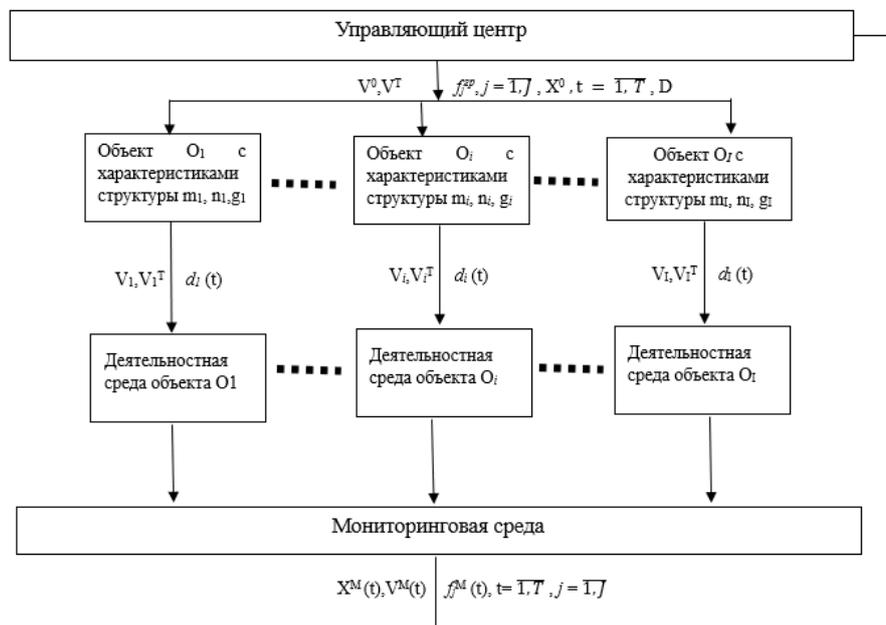


Рисунок 1 – Структурная модель взаимодействия компонентов ОСНСПЭ  
Figure 1 – Structural model of interaction of components of the OSHSSE

### Результаты и обсуждение

Учет особенностей ОСНСПЭ в полученной структурной модели определяет структуризацию управления, включающую, прежде всего, разделение на традиционную подсистему управления и подсистему поддержки принятия решений на основе ГИС-ориентированного классификационного моделирования и оптимизационного подхода, а затем, выделение задач управления тремя процессами: ресурсораспределительным, трансформационным и вариационным.

Во-первых, рассмотрим содержательную постановку задач управления каждым из перечисленных выше процессов.

Управление ресурсораспределительным процессом в ОСНСПЭ направлено на разделение интегрального объема ресурсного обеспечения  $R^0$  между объектами  $O_i, i = \overline{1, I}$  так, чтобы обеспечить объем деятельности  $X^0$  при соответствии показателей эффективности  $f_j, j = \overline{1, J}$  требованиям управляющего центра (3).

Управление трансформационным процессом в ОСНСПЭ заключается в выборе такого подмножества объектов  $O_{i_l}, i_l = \overline{1, I_1} \in \overline{1, I}$ , для которых достигается сбалансированная ситуация с учетом приоритетности мероприятий по трансформации,

позволяющих улучшить значения показателей  $f_j, j = \overline{1, J}$  и увеличить объем результатов деятельности  $X_i, i = \overline{1, I}$ , потребности в объеме ресурсного обеспечения для реализации этих мероприятий  $\hat{R}_i^T, i = \overline{1, I}$  и объема ресурса, предусмотренного управляющим центром  $R^T$ .

Управление вариационным процессом в ОСНСПЭ направлено на выбор такого структурно-временного распределения видов деятельности для каждого объекта  $O_i, i = \overline{1, I}$  с учетом правил их варьирования (2), при котором выполняются требования к показателям эффективности (3) и достигается объем результатов деятельности, определенный при управлении ресурсораспределительным процессом  $X_i, i = \overline{1, I}$ .

Во-вторых, охарактеризуем последовательность управленческих действий в рамках традиционного управления на основе требований управляющего центра и с учетом подсистемы поддержки принятия управленческих решений.

В традиционной системе требования к объемам ресурсов и деятельности, показателям эффективности трансформируются в управленческие решения на основе экспертного анализа без использования формализованных подходов, интеллектуальных и цифровых технологий. Принятые решения используются для реализации ресурсораспределительного, трансформационного и вариационного процессов в ОСНСПЭ. Вариант управления в целом ряде случаев оказывается недостаточно эффективным, что проявляется при мониторинге показателей эффективности. Поскольку мониторинговое оценивание отсрочено на календарный период функционирования деятельностной среды, существует риск запаздывания корректирующих решений.

С целью повышения эффективности управления предлагается подсистему традиционных действий совместить с подсистемой поддержки управленческих решений [5]. При управлении в ОСНСПЭ такая поддержка основывается на ряде источников информационного обеспечения:

- мониторинговой информации [6];
- ГИС-ориентированных данных, характеризующих структурную модель пространственных элементов на объектном уровне [7];
- экспертного оценивания реальных потребностей объектов организационной системы в ресурсах, в особенностях организационных характеристик деятельностной среды, прогнозирование достижения требований управляющего центра по показателям эффективности [8].

Перечисленные данные позволяют организовать принятие управленческих решений на основе оптимизационного моделирования. При этом для эффективной интеграции подсистемы поддержки принятия решений в управленческий цикл традиционной подсистемы, где доминирующую роль играют экспертные решения результаты оптимизационного моделирования каждому из процессов должны быть многовариантными [8, 10].

Структурная модель управления в ОСНСПЭ приведена на Рисунке 2.

Таким образом, сформированы структурные модели, отличающиеся учетом особенностей ОСНСПЭ при определении связей управляющего центра с объектами системы и их отражении в подсистеме поддержки принятия решений на основе ГИС-ориентированного и экспертно-оптимизационного моделирования и обеспечивающие целенаправленность управления на достижение установленных требований.

Разработанные структурные модели учитывают привязку процесса управления к оценкам неоднородности структуры пространственных элементов по классификационным признакам. Показано, что в этой ситуации требуется не только мониторинг количественных значений показателей эффективности, но и использование

ГИС-ориентированной информации для классификационного моделирования пространственных элементов, объединяемых в рамках территории объекта. С этой целью разработана процедура ГИС-ориентированного классификационного моделирования, включающая следующие этапы:

- формирование наборов реальных ГИС-ориентированных картографических материалов, соответствующих территории исследуемой ОСНСПЭ;
- подготовка обучающей и тестовой выборок для нейросетевой модели;
- машинное обучение нейронной сети классификации путем дополнения реальных данных условно-реальными с использованием проблемно-ориентированных датасетов и генерации синтетических данных с использованием специальных алгоритмов и программных средств;
- идентификация классификационных признаков структуры пространственных элементов, интегрируемых в процесс управления объектом организационной системы.

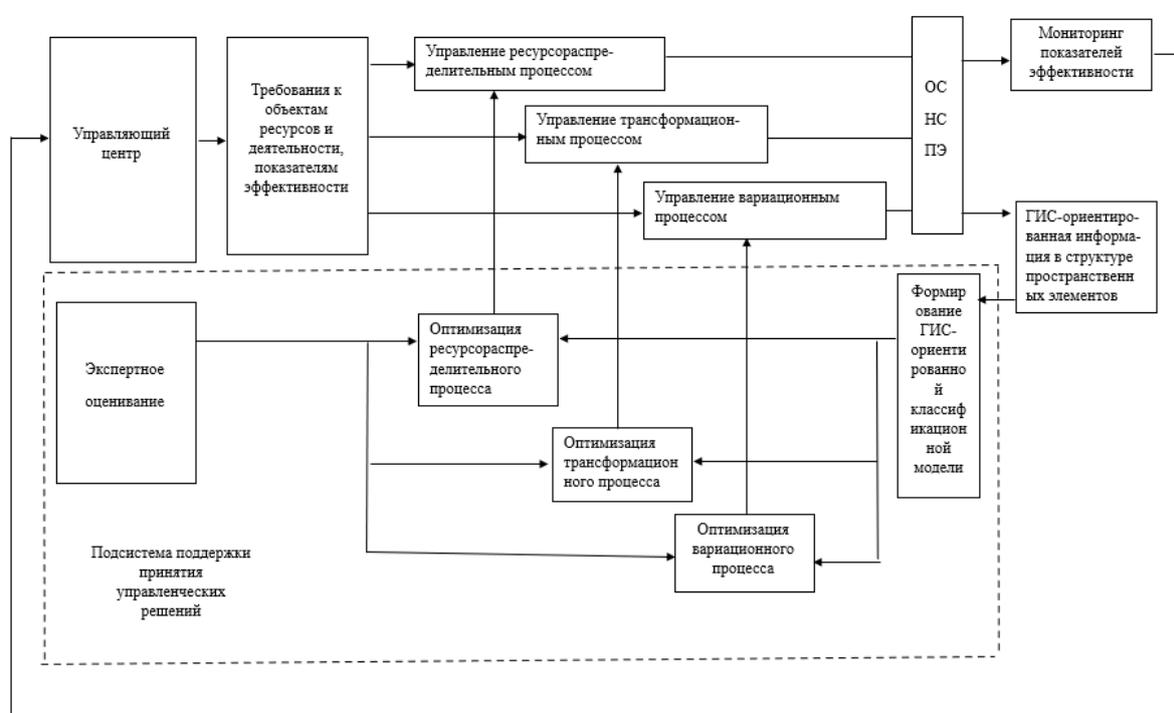


Рисунок 2 – Структурная модель управления в ОСНСПЭ  
Figure 2 – Structural management model in the OSHSSE

### Формирование структурной модели процессного уровня

Структурная модель процессного уровня определяет инвариантную последовательность алгоритмических действий при принятии управленческих решений на основе экспертно-оптимизационного моделирования [10] для разных процессов в ОСНСПЭ. Указанная последовательность позволяет выполнить следующие этапы.

1. Идентификация классификационных признаков пространственных элементов  $i$ -го объекта. Основой является ГИС-ориентированный визуальный образ территории  $i$ -го объекта. Каждая часть этого образа, соответствующая определенному пространственному элементу, анализируется с использованием обученной ГИС-ориентированной нейросетевой модели классификации [7] и определяются номера типа  $m_i$  с дифференциацией номера категории  $n_i$  и номера на шкале состояния  $g_i$ .

2. Экспертное оценивание количественных параметров объектной структуры модели в зависимости от идентифицированных параметров  $m_i$ ,  $n_i$ ,  $g_i$  пространственных элементов. Эти параметры необходимы для построения формализованного описания экстремальных и граничных требований, позволяющих осуществить генерацию альтернативных вариантов управленческих решений в задачах оптимизации ресурсораспределительного, трансформационного и вариационного процессов.

3. Построение формализованных правил либо оптимизационных моделей для последующего многовариантного выбора с учетом экспертных мнений в рамках традиционной схемы управления ОЧСПЭ.

4. Генерация множества доминирующих вариантов управленческих решений на основе формализованных правил либо оптимизационных моделей. Поскольку основой генерации является альтернативность решений, то для генерации используются итеративные процедуры многоальтернативной оптимизации [9].

5. Экспертный выбор на множестве доминирующих вариантов управленческих решений, сгенерированных с использованием формализованных правил либо оптимизационных моделей.

Детализация перечисленных этапов в рамках структурной модели процесса принятия управленческих решений в ОЧСПЭ представлена на Рисунке 3.

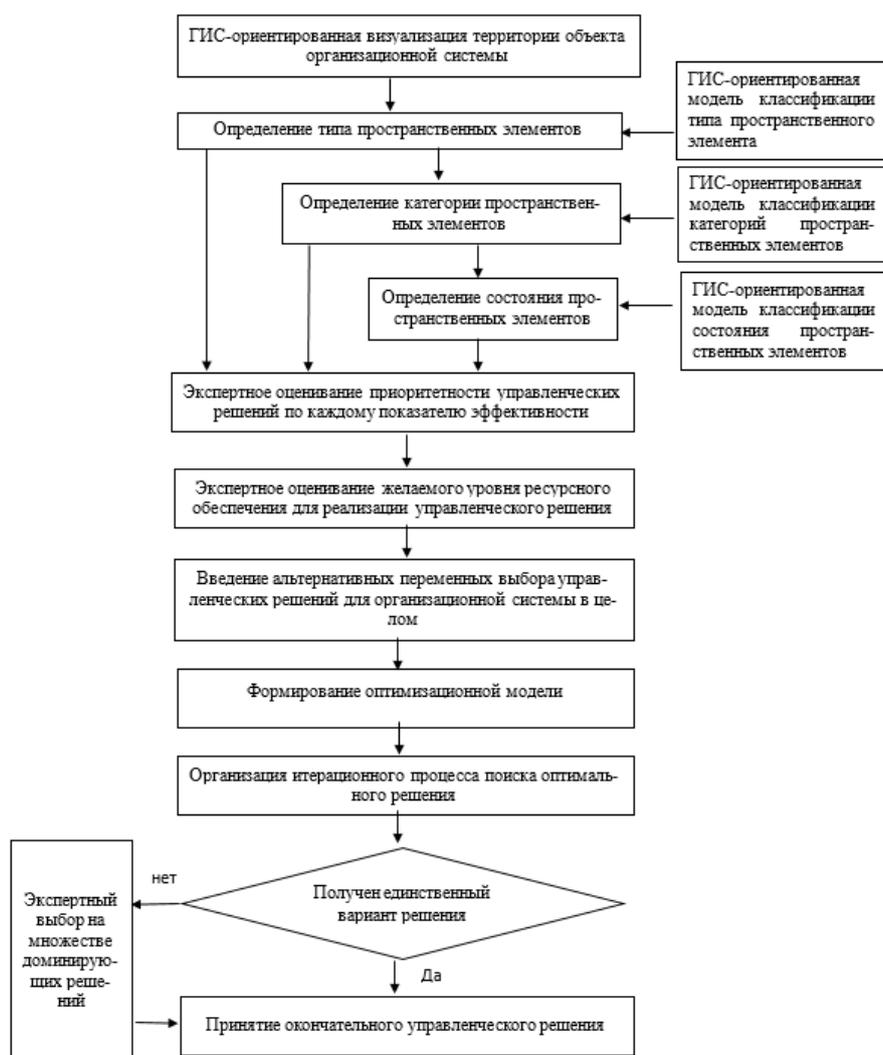


Рисунок 3 – Структурная модель процесса принятия управленческих решений в ОЧСПЭ  
 Figure 3 – Structural model of the management decision-making process in the OSHSSE

## Заключение

Особую роль в исследовании процессов управления в ОСНСПЭ играет структурное моделирование, позволяющее определять существенные тенденции взаимодействия пространственных элементов на объектном, системном и процессном уровнях.

Объектный уровень является исходным, поскольку определяет классификационную принадлежность пространственных элементов на основе ГИС-ориентированной информации.

На системном уровне целесообразно выделить в структурных моделях преобладание объектного уровня и характера взаимодействия управляющего центра, объектов с неоднородной структурой пространственных элементов, объединенных в организационное целое в рамках деятельностной среды, для которой устанавливаются требования к показателям и эффективности функционирования ОСНСПЭ.

Структурное моделирование на системном уровне позволяет выделить этапы инвариантной структуры процесса принятия решений: идентификации классификационных признаков пространственных элементов объекта, экспертного оценивания количественных параметров для формирования моделей многовариантного выбора, генерации доминирующих вариантов, экспертного выбора на множестве этих вариантов. Инструментальной основой реализации этих этапов являются алгоритмы экспертно-оптимизационного моделирования.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Линкина А.В., Львович Я.Е., Рындин Н.А. Оптимизация принятия решений при управлении в организационных системах с неоднородной структурой пространственных элементов. *Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление*. 2024;(3):87–96.  
Linkina A.V., Lvovich Ya.E., Ryndin N.A. Optimization of decision-making in management in organizational systems with a heterogeneous structure of spatial elements. *Vestnik of Russian New University. Series: Complex Systems: Models, Analysis, Management*. 2024;(3):87–96. (In Russ.).
2. Линкина А.В., Рошин В.С. Разработка функциональных алгоритмов и концептуальной модели информационно-аналитической системы поддержки управления региональным агропромышленным комплексом. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2023;85(4):115–121. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2023-4-115-121>  
Linkina A.V., Roshin V.S. Development of functional algorithms and a conceptual model of an information and analytical system to support the management of the regional agro-industrial complex. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2023;85(4):115–121. (In Russ.). <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2023-4-115-121>
3. Львович Я.Е., Питолин А.В., Сапожников Г.П. Многометодный подход к моделированию сложных систем на основе анализа мониторинговой информации. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2019;7(2). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2019.25.2.023>  
Lvovich Ya.E., Pitolin A.V., Sapozhnikov G.P. Multi-method approach to the modeling of complex systems based on monitoring data analysis. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2019;7(2). (In Russ.). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2019.25.2.023>

4. Yuronen Yu.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: Volume 94: International Scientific and Research Conference on Topical Issues in Aeronautics and Astronautics, 06–10 April 2015, Krasnoyarsk, Russia*. Institute of Physics Publishing; 2015. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/94/1/012023>
5. Петросов Д.А., Игнатенко В.А., Петросова Н.В., Зеленина А.Н. Структурный синтез инновационных агротехнологических процессов с применением генетических алгоритмов. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2019;7(2). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2019.25.2.022>  
Petrosov D.A., Ignatenko V.A., Petrosova N.V., Zelenina A.N. Structural synthesis of innovative agrotechnological processes with the application of genetic algorithms. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2019;7(2). (In Russ.). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2019.25.2.022>
6. Борзов С.М., Потатуркин О.И. Обнаружение антропогенных зон на основе поиска пространственных аномалий в крупномасштабных спутниковых изображениях. *Автометрия*. 2012;48(5):104–111.  
Borzov S.M., Potaturkin O.I. Detection of anthropogenic zones by means of spatial anomaly detection in large-scale satellite images. *Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing*. 2012;48(5):515–521. <https://doi.org/10.3103/S8756699012050123>
7. Борзов С.М., Потатуркин А.О. Исследование эффективности пространственных признаков при классификации спутниковых изображений различного разрешения. *Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии*. 2012;10(3):58–65.  
Borzov S.M., Potaturkin A.O. Survey of spatial attributes' effectiveness in classification of satellite imagery of various resolutions. *Vestnik NSU. Series: Information Technologies*. 2012;10(3):58–65. (In Russ.).
8. Marzouk M., Othman E., Metawie M. Managing demolition wastes using GIS and optimization techniques. *Cleaner Engineering and Technology*. 2024;23. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2024.100852>
9. Zandniapour K., Soroush A., Khezerlu Agdam E., Sanaieian H. Integrating GIS, 3D-Isovist, and an NSGA-II multi-objective optimization algorithm for automation of design process in urban parks and public open spaces. *International Journal of Geoheritage and Parks*. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.ijgeop.2024.08.002>
10. Li W., Winter P.L., Milburn L.-A., Padgett P.E. A dual-method approach toward measuring the built environment – sampling optimization, validity, and efficiency of using GIS and virtual auditing. *Health & Place*. 2021;67. <https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2020.102482>

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Линкина Анна Вячеславовна**, аспирант, **Anna V. Linkina**, postgraduate, senior lecturer, старший преподаватель, Воронежский Voronezh Institute of High Technologies, институт высоких технологий, Воронеж, Voronezh, the Russian Federation. Российская Федерация.

*e-mail*: [anna\\_linkina@rambler.ru](mailto:anna_linkina@rambler.ru)  
ORCID: [0000-0002-8429-1292](https://orcid.org/0000-0002-8429-1292)

*Статья поступила в редакцию 12.12.2024; одобрена после рецензирования 23.12.2024; принята к публикации 26.12.2024.*

*The article was submitted 12.12.2024; approved after reviewing 23.12.2024; accepted for publication 26.12.2024.*