

УДК 004.9

DOI: [10.26102/2310-6018/2022.38.3.029](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2022.38.3.029)

Управление территориально связанными системами отраслевого кластера на основе пространственно-временной информации

В.В. Горячко¹, А.С. Борзова², О.Н. Чопоров³✉

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
Москва, Российская Федерация

²Московский государственный технический университет гражданской авиации,
Москва, Российская Федерация

³Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко,
Воронеж, Российская Федерация
choporov_oleg@mail.ru✉

Резюме. Одной из актуальных проблем современной теории управления организационными системами является разработка эффективных алгоритмических процедур управления территориально связанными организационными системами, в которых эффективность функционирования территориально распределенных объектов основной организационной системы зависит от степени влияния результатов их деятельности на объекты организационной системы, связанной с основной. В рамках данного исследования предложены проблемно-ориентированные процедуры анализа и управления территориально связанными системами отраслевого кластера на основе пространственно-временной информации, включающие: картографическую визуализацию результатов ГИС-ориентированного мониторингового оценивания функционирования объектов основной и связанной систем; экспертный анализ интенсивности результативного взаимодействия объектов на основе ГИС-ориентированной пространственно-временной информации с учетом вариантов перспективного планирования объемных показателей; выбор варианта, наилучшим образом обеспечивающего взаимодействие основной и связанной с ней системы внутри отраслевого кластера; распределение объемных показателей варианта между объектами внутри отраслевого кластера. Представлены результаты применения предложенной методики в практике управления результативным взаимодействием территориально связанных систем, входящих в кластер гражданской авиации, где в качестве основной системы выступает отраслевая система высшего и профессионального образования, а в качестве территориально связанной системы – система аэропортов Российской Федерации. Полученные результаты подтвердили эффективность предложенного подхода, что позволяет рекомендовать его к использованию в практике управления территориальными связанными организационными системами различных отраслевых кластеров.

Ключевые слова: организационные системы, управление территориально-связанными системами, оптимизация, поддержка принятия решений, отраслевой кластер, система образования, гражданская авиация, пространственно-временная информация.

Для цитирования: Горячко В.В., Борзова А.С., Чопоров О.Н. Управление территориально связанными системами отраслевого кластера на основе пространственно-временной информации. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии.* 2022;10(3). Доступно по: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1245> DOI: 10.26102/2310-6018/2022.38.3.029

Management of geographically connected systems of an industry cluster based on spatial and temporal information

V.V. Goryachko¹, A.S. Borzova², O.N. Choporov³✉

¹*Moscow State University named after M.V. Lomonosov, Moscow, Russian Federation*

²*Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russian Federation*

³*Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko, Voronezh, Russian Federation*

choporov_oleg@mail.ru 

Abstract. One of the urgent problems of modern management theory in organizational systems is the development of effective algorithmic procedures for managing geographically related organizational systems in which the effectiveness of geographically distributed objects operation of the main organizational system depends on the extent to which the results of their activities influence the objects of the organizational system associated with the main one. As part of this study, the authors propose problem oriented procedures for the analysis and management of geographically connected systems of an industry cluster based on spatial and temporal information including cartographic visualization of the results of a GIS-based monitoring assessment of the operation of the objects within the main and associated systems and an expert analysis of object effective interaction intensity based on GIS-oriented spatial and temporal information with consideration to long-term planning of volumetric indicators. Selection of the option that best ensures the interaction of the main and related systems within the industry cluster as well as distribution of volume indicators of a variant between objects within an industry cluster are also suggested. The article presents the results of employing the proposed methodology in the practice of managing the effective interaction of geographically related systems included in the civil aviation cluster where the branch system of higher and vocational education is the main and the geographically connected system is the system of airports of the Russian Federation. The findings confirmed the effectiveness of the proposed approach which makes it possible to recommend it for the use in the practice of managing territorial connected organizational systems of various industry clusters.

Keywords: organizational systems, management of geographically connected systems, optimization, decision making support, industry cluster, education system, civil aviation, spatial and temporal information.

For citation: Goryachko V.V., Borzova A.S., Choporov O.N. Management of geographically connected systems of an industry cluster based on spatial and temporal information. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2022;10(3). Available from: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1245> DOI: 10.26102/2310-6018/2022.38.3.029 (In Russ.).

Введение

Современные возможности цифровой трансформации в организационных системах повышают возможности интенсивного взаимодействия объектов этих систем независимо от их геолокации. В новых условиях эффективность функционирования территориально распределенных объектов основной организационной системы зависит от степени влияния результатов их деятельности на объекты организационной системы, связанной с основной. Одним из наиболее распространенных в практике случаев сочетания признаков территориально связанных социально-экономических систем является типичная комбинация, когда основная и территориально связанная системы принадлежат к одному отраслевому кластеру. Такая комбинация характерна для целого ряда отраслей, в которых в качестве основной системы рассматривается система образования: гражданская авиация, здравоохранение, культура, сельское хозяйство. Управленческие решения принимаются на основе результатов анализа интенсивности результативного взаимодействия основной и связанной систем. Такая территориальная связанность требует привлечения для управления такими системами методов оптимизации и принятия решений.

Теоретические основы управления эффективностью функционирования организационных систем, изложенные в ряде научных трудов [1-7], определяют

инвариантные методы оптимизации принятия управленческих решений в случае универсальной структуры системы.

Однако эти методы не учитывают ряд особенностей управления объектами территориально связанных организационных систем:

- для принятия управленческих решений используется пространственно-временная информация;
- цифровая трансформация пространственно-временных данных функционирования объектов осуществляется с использованием ГИС-ориентированного мониторинга и рейтингового оценивания;
- повышение эффективности управления достигается на основе поддержки традиционных форм административного управления путем совмещения оптимизационного и экспертного подходов к принятию решений и за счет сокращения времени на поиск и анализ информации в рамках единой картографической визуализации данных.

Перечисленные особенности требуют проблемной ориентации инвариантных методов управления в организационных системах для оптимизации принятия решения в рамках исследуемого класса объектов.

Таким образом, актуальность настоящего исследования определяется необходимостью создания проблемно-ориентированных процедур анализа и алгоритмов управления территориально связанными системами отраслевого кластера на основе пространственно-временной информации и их апробации на примере отраслевого кластера гражданской авиации.

Материалы и методы

Можно предложить к рассмотрению следующую классификацию территориально связанных систем:

- односвязные и многосвязные (в зависимости от числа систем, которые связаны с основной);
- ресурсные, результативные и ресурсно-результативные (в зависимости от вида взаимодействия основной системы со связанными);
- региональные и межрегиональные (в зависимости от принадлежности основной и связанных систем к территориальным кластерам);
- отраслевые и межотраслевые (в зависимости от принадлежности основной и связанных систем к отраслевому кластеру).

В зависимости от принадлежности организационной системы к определенному классу используются свои подходы к управлению такими системами.

Рассмотрим следующий вариант (применимый для отраслевого кластера гражданской авиации): совокупность организационных систем является односвязной, основанной на результативном взаимодействии, межрегиональной, отраслевой.

В данном случае управление результативным взаимодействием организационными системами осуществляется в следующей последовательности:

- осуществляется картографическая визуализация результатов ГИС-ориентированного мониторингового оценивания функционирования объектов основной системы $O_i, i = \overline{1, I}$ на основе значений показателей $f_{ijg}(t, d)$ и объектов связанной системы $O_{ic}, i_c = \overline{1, I^c}$ на основе значений показателей $f_{ic^c}^c(t, d), j^c = \overline{1, I^c}$;
- проводится оценка и фиксация взаимосвязей основной и связанных с ней систем;
- выполняется экспертный анализ интенсивности результативного

взаимодействия объектов на основе ГИС-ориентированной пространственно-временной информации с учетом $w = \overline{1, W}$ вариантов перспективного планирования объемных показателей с горизонтом планирования $T + t_1, t_1 = \overline{1, T_1}$;

– осуществляется выбор на множестве $w = \overline{1, W}$ варианта w^* , наилучшим образом обеспечивающего взаимодействие основной и связанной с ней системы внутри отраслевого кластера;

– производится распределение объемных показателей варианта w^* между объекта $O_{i^c}, i^c = \overline{1, I^c}$ внутри отраслевого кластера.

Первые три этапа выполняются в рамках модулей предварительной обработки пространственно-временной информации, без обращения к алгоритмам интеллектуальной поддержки, последние требуют обращения и более эффективно реализуются путем сочетания экспертных и формализованных оценок [11].

Предлагается следующая этапность трансформации данных в оценки:

– формирование временных рядов прогнозных значений показателей на основе метода экспоненциального сглаживания [13]

$$f_{j^c i^c}^c(T + t_1), j^c = \overline{1, J^c}, i^c = \overline{1, I^c}, t_1 = \overline{1, T_1}; \quad (1)$$

– определение максимального и минимального значений показателей по совокупности временных рядов (3.11) для всех объектов $O_{i^c}, i^c = \overline{1, I^c}$

$$f_{j^c}^{\max c}, j^c = \overline{1, J^c}, f_{j^c}^{\min c}, j^c = \overline{1, J^c};$$

– вычисление нормированных значений показателей для всех периодов перспективного планирования

$$\hat{f}_{j^c i^c}^c(T + t_1) = \frac{f_{j^c i^c}^c(T + t_1) - f_{j^c}^{\min c}}{f_{j^c}^{\max c} - f_{j^c}^{\min c}} A, \quad (2)$$

где $[0, A]$ – интервал нормированных значений показателей;

– выбор интегральной свертки показателей (2) проводится, исходя из их равнозначности для передачи результатов деятельности основной системы внутри отраслевого кластера

$$F_{i^c}(T + t_1) = \sum_{j^c} f_{j^c i^c}^c(T + t_1), i^c = \overline{1, I^c}, t_1 = \overline{1, T_1}; \quad (3)$$

– определение максимального и минимального значений интегральных оценок (3) на множестве объектов $O_{i^c}, i^c = \overline{1, I^c}$;

– вычисление оценки потенциала объекта $O_{i^c}, i^c = \overline{1, I^c}$

$$\hat{F}_{i^c}(T + t_1) = \frac{F_{i^c}(T + t_1) - F_{i^c}^{\min}}{F_{i^c}^{\max} - F_{i^c}^{\min}} A. \quad (4)$$

С использованием оценок (4) и величин $f_{j^0 i^c}^n(T + t_1)$ потребностей объектов $O_{i^c}, i^c = \overline{1, I^c}$, устанавливаемых экспертным путем, определяем распределения объемных показателей результативного взаимодействия (9) между объектами связанной системы внутри отраслевого кластера

$$f_{j^0 i^c}^*(T + t_1) = f_{j^0 i^c}^n(T + t_1) - \beta_{j^0}(T + t_1) (A - \hat{F}_{i^c}(T + t_1)), j^0 = \overline{1, J^0}, i^c = \overline{1, I^c}, t_1 = \overline{1, T_1}, \overline{1, J^0}, i^c = \overline{1, I^c}, t_1 = \overline{1, T_1}, \quad (5)$$

где параметр $\beta_{j^0}(T + t_1)$ находится из условия (1)

$$\sum_{i^c=1}^{I^c} f_{j^0 i^c}^*(T + t_1), f_{j^0}^*(T + t_1) \text{ для } f_{j^0 i^c}^*(T + t_1) > 0, j^0 = \overline{1, J^0}. \quad (6)$$

В случае $f_{j^0 i^c}^*(T + t_1) < 0$, потребность этого объекта в результатах деятельности основной системы не удовлетворяется.

Результаты и их обсуждение

Рассмотрим применение разработанных средств в практике управления результативным взаимодействием территориально связанных систем, входящих в кластер гражданской авиации. При этом в качестве основной системы выступает отраслевая система высшего и профессионального образования, а территориально связанной системой – система аэропортов Российской Федерации. Таким образом, совокупность этих двух систем гражданской авиации в соответствии с классификационными признаками [11] является односвязной, основанной на результативном взаимодействии, межрегиональной, отраслевой.

Для принятия управленческих решений по результативному взаимодействию в соответствии с представленной выше методикой использовалась следующая исходная информация.

1. Временные ряды объемных показателей основной системы – численность выпускников вузов гражданской авиации по образовательным программам высшего (ВО) и среднего профессионального образования (СПО):

$f_1^0(t)$ – ВО, группа направлений 20.00.00 «Техносферная безопасность и природообустройство»;

$f_2^0(t)$ – ВО, группа направлений 23.00.00 «Техника и технология наземного транспорта»;

$f_3^0(t)$ – ВО, группа направлений 25.00.00 «Аэронавигация и эксплуатация авиационной и ракетно-космической отрасли»;

$f_4^0(t)$ – ВО, группа направлений 27.00.00 «Управление в технических системах»;

$f_5^0(t)$ – ВО, группа направлений 43.00.00 «Сервис и туризм»;

$f_6^0(t)$ – СПО, группа направлений 08.00.00 «Техника и технологии строительства»;

$f_7^0(t)$ – СПО, группа направлений 11.00.00 «Электроника, радиотехника и системы связи»;

$f_8^0(t)$ – СПО, группа направлений 13.00.00 «Электро- и теплотехника»;

$f_9^0(t)$ – СПО, группа направлений 23.00.00;

$f_{10}^0(t)$ – СПО, группа направлений 25.00.00;

$f_{11}^0(t)$ – СПО, группа направлений 43.00.00;

$f^0(t)$ – общая численность выпускников (характеризующая интенсивность результативного взаимодействия основной системы с территориально связанной).

2. Пространственно-временная информация об объемных показателях основной системы (Таблица 1):

$f_{12}, i = (t, d)$ – численность выпускников, обучающихся по всем программам ВО в i -м вузе d -й геолокации ($i=1$ – Московский государственный технический университет гражданской авиации (МГТУ ГА); $i=2$ – Санкт-Петербургский государственный технический университет гражданской авиации (СПбГТУ ГА); $i=3$ – Ульяновский институт гражданской авиации имени главного маршала авиации Б.П. Бугаева (УИ ГА));

$f_{13}, i = (t, d)$ – численность выпускников, обучающихся по всем программам СПО в i -м вузе d -й геолокации.

3. Временные ряды показателей функционирования связанной системы (система

авиакомпаний):

- $f_1^c(t)$ – количество авиакомпаний;
- $f_2^c(t)$ – количество воздушных судов;
- $f_3^c(t)$ – общее количество полетов;
- $f_4^c(t)$ – количество внутренних полетов;
- $f_5^c(t)$ – количество международных полетов;
- $f_6^c(t)$ – пассажирооборот, млрд. пасс. км;
- $f_7^c(t)$ – пассажиропоток, млн. пасс.;
- $f_8^c(t)$ – грузооборот, млн. тонн. км;
- $f_9^c(t)$ – перевозки грузов и почты, тыс. тонн.

Таблица 1 – Пространственно-временная информация об объемных показателях основной системы

Table 1 – Spatial and temporal information on the volumetric indicators of the main system

| ВУЗ ($i = 1,3$) | Год | | | | | | | Среднее значение | Изменение в % к 2015 г. |
|----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------------------|-------------------------|
| | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | | |
| $f_{12,1}$ | 454 | 418 | 408 | 568 | 557 | 635 | 839 | 554 | +84,8 |
| $f_{13,1}$ | 576 | 578 | 566 | 645 | 656 | 851 | 853 | 675 | +48,1 |
| $f_{12,2}$ | 706 | 792 | 748 | 773 | 984 | 1053 | 1162 | 888 | +64,6 |
| $f_{13,2}$ | 628 | 675 | 744 | 813 | 580 | 873 | 861 | 739 | +37,1 |
| $f_{12,3}$ | 237 | 259 | 349 | 496 | 545 | 561 | 494 | 420 | +108,4 |
| $f_{13,3}$ | 167 | 279 | 314 | 392 | 283 | 430 | 320 | 312 | +91,6 |

4. Пространственно-временная информация о показателях функционирования аэропортов (Таблица 2):

- $I^c(t)$ – количество аэропортов;
- $f_{10,i^c}(t, d)$ – количество воздушных судов, обслуженных $i^c = \overline{1, I^c}$ аэропортами d –й геолокации;
- $f_{11,i^c}(t, d)$ – число пассажиров, обслуженных $i^c = \overline{1, I^c}$ аэропортами d –й геолокации;
- $f_{12,i^c}(t, d)$ – количество груза и почты, прошедших через $i^c = \overline{1, I^c}$ аэропорты d –й геолокации.

5. Картографическая визуализация результативного взаимодействия объектов основной и связанной систем.

Таблица 2 – Пространственно-временная информация о показателях функционирования аэропортов

Table 2 – Spatial and temporal information on the performance of airports

| Показатели | Год | | | | | | | Среднее значение | Изменение, в % |
|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------------|----------------|
| | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | | |
| $I^c(t)$ | 234 | 238 | 238 | 246 | 254 | 255 | 255 | 246 | +9,0 |
| $f_{10}^c(t)$ | 2655252 | 2950104 | 3351736 | 3565949 | 3779472 | 3744012 | 3632866 | 3382770 | +36,8 |
| $f_{11}^c(t)$ | 184671635 | 208130404 | 253441782 | 284781388 | 315503474 | 318660322 | 319196091 | 269197871 | +72,8 |
| $f_{12}^c(t)$ | 1463281 | 1745111 | 2003476 | 1888326 | 1761330 | 1538311 | 1680392 | 1725747 | +14,8 |

С использованием исходной информации вычислены коэффициенты парной корреляции $\rho(f_{i^c}, f_{j^0}^0, T)$ между показателями $f_{j^0}^0(t), j_0 = \overline{1, 13}$ и $f_{j^c}^c(t), j^c = \overline{1, 12}$ (Таблица 3), на основе которых проводился анализ интенсивности связей основной и

связанной систем.

Для принятия управленческих решений применяется программный модуль «Оптимизация принятия управленческих решений с использованием результатов анализа интенсивности территориального взаимодействия связанных систем» [14], с использованием которого осуществляется выбор наилучшего варианта на предлагаемых экспертами множестве вариантов $w = \overline{1,5}$ перспективного планирования на 5 лет (Таблица 4).

С целью определения коэффициентов парной корреляции $\rho_w(f_{j^c}, f_{j^0_w}, T + t_1), t_1 = \overline{1,5}$, характеризующих интенсивность связей между экспертными и прогнозными оценками показателей основной и связанной системы, осуществлялось формирование прогностических моделей (Таблица 5), среди которых выбиралась наиболее точная на период прогнозирования $t_1 = \overline{1,5}$. На основе прогностических моделей определены коэффициенты парной корреляции, $\rho_w(f_{j^c}, f_{j^0_w}, T + t_1)$ (Таблица 6).

Таблица 3 – Интенсивность связей (коэффициенты парной корреляции) показателей результативного взаимодействия основной системы и эффективности функционирования связанной системы по данным за 2015-2021 годы

Table 3 – Intensity of links (pair correlation coefficients) of the main system effective interaction indicators and the operation efficiency of the connected system according to the data for 2015-2021

| Показатели результатов взаимодействия основной системы по направлениям подготовки $f^0(t)$ | Показатель функционирования связанной системы | | | | | | | |
|--|---|--------------|--------------|-------------|--------------|---------------|---------------|---------------|
| | $f_1^c(t)$ | $f_3^c(t)$ | $f_6^c(t)$ | $f_8^c(t)$ | $I^c(t)$ | $f_{10}^c(t)$ | $f_{11}^c(t)$ | $f_{12}^c(t)$ |
| $f_1^0(t)$ | -0,18 | -0,35 | -0,37 | 0,31 | 0,02 | -0,27 | -0,13 | -0,77 |
| $f_2^0(t)$ | -0,81 | 0,76 | 0,76 | 0,48 | 0,83 | 0,82 | 0,83 | -0,14 |
| $f_3^0(t)$ | -0,85 | 0,64 | 0,59 | 0,95 | 0,82 | 0,65 | 0,77 | -0,12 |
| $f_4^0(t)$ | 0,07 | 0,35 | 0,42 | -0,34 | 0,01 | 0,29 | 0,17 | 0,66 |
| $f_5^0(t)$ | 0,41 | -0,02 | -0,02 | -0,62 | -0,40 | -0,15 | -0,29 | 0,60 |
| $f_6^0(t)$ | -0,20 | 0,26 | 0,14 | 0,34 | 0,21 | 0,27 | 0,24 | 0,22 |
| $f_7^0(t)$ | -0,74 | 0,45 | 0,50 | 0,41 | 0,55 | 0,49 | 0,57 | -0,22 |
| $f_8^0(t)$ | 0,30 | -0,50 | -0,36 | -0,38 | -0,22 | -0,42 | -0,35 | -0,76 |
| $f_9^0(t)$ | 0,79 | -0,86 | -0,83 | -0,70 | -0,87 | -0,90 | -0,91 | -0,18 |
| $f_{10}^0(t)$ | -0,95 | 0,76 | 0,73 | 0,81 | 0,90 | 0,81 | 0,89 | -0,14 |
| $f_{11}^0(t)$ | -0,13 | -0,07 | -0,16 | 0,52 | -0,08 | -0,04 | -0,00 | 0,32 |

Примечание: жирным шрифтом выделены достоверные взаимосвязи (при $p < 0,05$)

Таблица 4 – Результаты экспертного формирования множества вариантов временных рядов объема выпуска специалистов

Table 4 – Results of the expert formation of a set of options for time series of specialist output

| Номер варианта | Год | | | | |
|----------------|------|------|------|------|------|
| | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 |
| Программы ВО | | | | | |
| Вариант 1 | 2400 | 2440 | 2360 | 2480 | 2720 |
| Вариант 2 | 2215 | 2430 | 2310 | 2505 | 2690 |
| Вариант 3 | 2220 | 2390 | 2410 | 2570 | 2720 |
| Вариант 4 | 2600 | 2590 | 2580 | 2670 | 2760 |
| Вариант 5 | 2250 | 2410 | 2360 | 2690 | 2650 |
| Программы СПО | | | | | |
| Вариант 1 | 2230 | 2455 | 2370 | 2605 | 2600 |
| Вариант 2 | 2150 | 2260 | 2355 | 2450 | 2550 |
| Вариант 3 | 2210 | 2320 | 2300 | 2520 | 2570 |
| Вариант 4 | 2000 | 2280 | 2220 | 2340 | 2420 |
| Вариант 5 | 2215 | 2350 | 2350 | 2510 | 2510 |

Таблица 5 – Альтернативные модели для прогнозирования показателей основной и связанной систем в рамках отраслевого кластера

Table 5 – Alternative models for predicting the indicators of the main and connected systems within an industry cluster

| <i>Название модели</i> | <i>Модель</i> |
|-----------------------------|---|
| Linear | $Y = 2,98111 + 0,603816 * X$ |
| Squared-X | $Y = 17,6361 + 0,00450529 * X^2$ |
| Squared-Y | $Y = (-1146,89 + 53,9679 * X)^{1/2}$ |
| Square root-X | $Y = -24,7106 + 8,58526 * \sqrt{X}$ |
| Square root-Y | $Y = (2,94256 + 0,050656 * X)^2$ |
| Double squared | $Y = (80,2752 + 0,427034 * X^2)^{1/2}$ |
| Double square root | $Y = (0,431574 + 0,748225 * \sqrt{X})^2$ |
| Reciprocal-X | $Y = 43,3937 - 317,945 / X$ |
| Reciprocal-Y squared-X | $Y = 1 / (0,0736677 - 0,00000612448 * X^2)$ |
| Double reciprocal | $Y = 1 / (-0,00274336 + 1,68958 / X)$ |
| Squared-Y square root-X | $Y = (-3386,34 + 732,243 * \sqrt{X})^{1/2}$ |
| Square root-Y reciprocal-X | $Y = (6,55536 - 33,4306 / X)^2$ |
| Squared-Y reciprocal-X | $Y = (2226,94 - 21183,5 / X)^{1/2}$ |
| Square root-Y squared-X | $Y = (4,23131 + 0,000360493 * X^2)^2$ |
| Logarithmic-X | $Y = -59,351 + 24,9447 * \ln X$ |
| Reciprocal-Y logarithmic-X | $Y = 1 / (0,325191 - 0,0736115 * \ln X)$ |
| Square root-Y logarithmic-X | $Y = (-3,01295 + 2,28902 * \ln X)^2$ |
| Squared-Y logarithmic-X | $Y = (-5852,98 + 1995,67 * \ln X)^{1/2}$ |
| Exponential | $Y = \exp(2,32968 + 0,019036 * X)$ |
| S-curve model | $Y = \exp(3,81961 - 16,5805 / X)$ |
| Logarithmic-Y squared-X | $Y = \exp(2,84266 + 0,000127017 * X^2)$ |
| Logarithmic-Y square root-X | $Y = \exp(1,28661 + 0,295992 * \sqrt{X})$ |
| Multiplicative | $Y = \exp(-0,308723 + 0,968423 * \ln X)$ |

Таблица 6 – Интенсивность взаимодействия на основе экспертных вариантов функционирования основной системы в 2022-2026 гг. и прогнозных значений показателей связанной системы
Table 6 – Intensity of interaction based on expert options for the main system operation in 2022-2026 and predictive values of the associated system indicator

| Показатели эффективности процессов эксплуатации воздушного транспорта | Объем выпуска специалистов | | | | |
|---|----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | Вариант 1 | Вариант 2 | Вариант 3 | Вариант 4 | Вариант 5 |
| <i>Программы ВО</i> | | | | | |
| 1. Общее количество аэропортов, $I^c(t)$ | 0,75 | 0,89 | 0,98 | 0,83 | 0,91 |
| 2. Количество воздушных судов, обслуженных аэропортами, $f_{10}^c(t)$ | 0,76 | 0,89 | 0,98 | 0,83 | 0,90 |
| 3. Число пассажиров, обслуженных аэропортами, $f_{11}^c(t)$ | 0,76 | 0,89 | 0,98 | 0,83 | 0,90 |
| 4. Количество груза и почты, прошедшие через аэропорты, $f_{12}^c(t)$ | 0,76 | 0,89 | 0,98 | 0,83 | 0,90 |
| <i>Программы СПО</i> | | | | | |
| 1. Общее количество аэропортов, $I^c(t)$ | 0,91 | 0,99 | 0,96 | 0,91 | 0,96 |
| 2. Количество воздушных судов, обслуженных аэропортами, $f_{10}^c(t)$ | 0,88 | 0,99 | 0,95 | 0,89 | 0,95 |
| 3. Число пассажиров, обслуженных аэропортами, $f_{11}^c(t)$ | 0,88 | 0,99 | 0,95 | 0,89 | 0,95 |
| 4. Количество груза и почты, прошедшие через аэропорты, $f_{12}^c(t)$ | 0,88 | 0,99 | 0,95 | 0,89 | 0,95 |

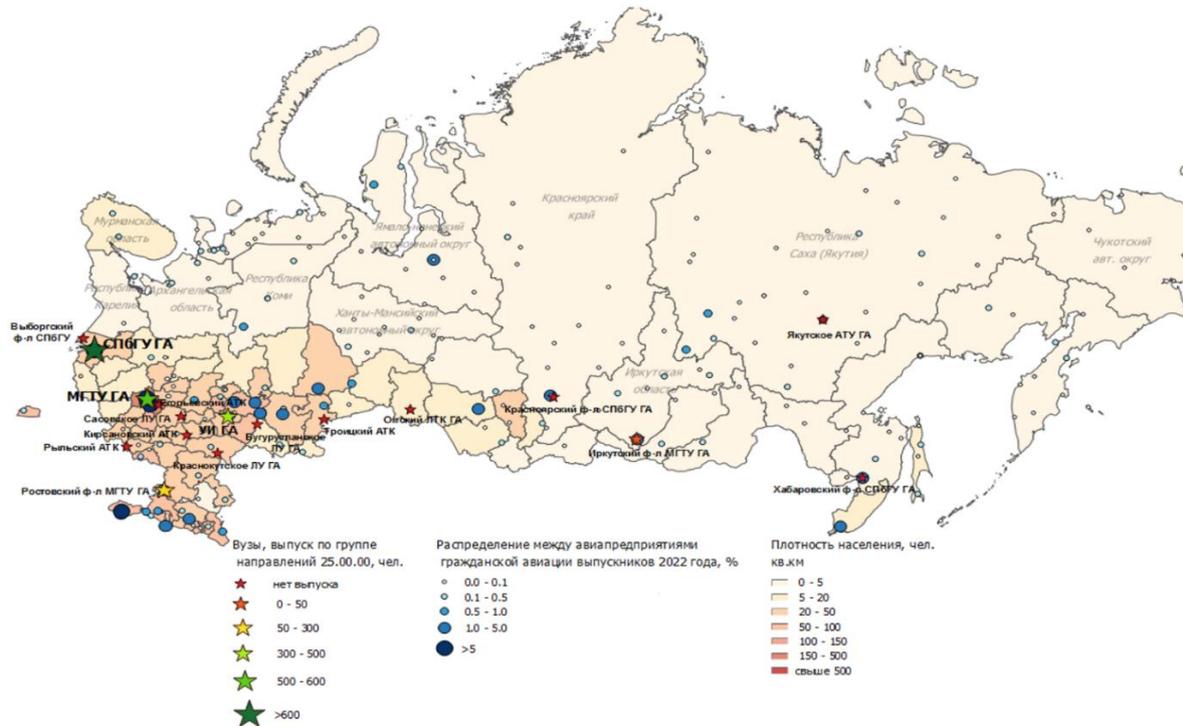


Рисунок 1 – Картографическая визуализация распределения объемов результативного взаимодействия между объектам и связанной системы

Figure 1 – Cartographic visualization of the effective interaction volume distribution between objects and the associated system

В результате проверки в программном модуле «Интеллектуальная поддержка принятия управленческих решений с использованием результатов анализа интенсивности взаимодействия территориально связанных систем» условий (7), (8) были выбраны варианты объема выпуска специалистов: программы ВО – вариант 3, программа СПО – вариант 2 и осуществлено распределение объемов результативного взаимодействия между объектами (авиапредприятиями) связанной системы в виде управленческого решения, представленного ГИС-ориентированной визуализацией (Рисунок 1).

Таким образом, применение предложенной методики позволило обеспечить принятие управленческих решений по оптимизации результативного взаимодействия между основной и территориально связанной системой в рамках отрасли гражданской авиации на основе анализа значимости связей на заданный период прогнозирования.

Заключение

Идентификация структуры и параметров модели взаимодействия объектов территориально связанных систем на основе пространственно-временной информации создает предпосылки для последующего анализа характера интенсивности ресурсного и результативного взаимодействия объектов, который, в свою очередь, является основой для формирования алгоритмов поддержки административных управленческих решений на основе применения методов оптимизации.

Возможность объединения экспертных и формализованных решений в едином цикле управления определяет необходимость двух подсистем в структуре системы управления территориально связанными организационными системами. Подсистема административного управления позволяет принимать решения только на основе экспертного оценивания пространственно-временной мониторинговой информации. Объединение с формализованными алгоритмами обеспечивает формирование компромиссного решения и осуществляется в рамках подсистемы поддержки управленческих решений. В этой подсистеме основным инструментом взаимодействия с экспертами является картографическая визуализация пространственно-временной информации. Фиксация экспертом определенных географических позиций на карте инициирует процесс анализа и реализацию алгоритмов оптимизации и управления.

Реализация предложенного подхода к управлению отраслевой территориально связанной социально-экономической системой в рамках результативного взаимодействия системы профессионального и высшего образования с экономической системой авиакомпаний в рамках отраслевого кластера гражданской авиации, показала его эффективность и возможность использования в практической деятельности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Айзензон С.Е., Баркалов С.А., Бурков В.Н., Леонтьев С.В. *Модели и механизмы регионального управления*. М.: Библиотека ОАО «ИКГ РОЭЛ Консалтинг»; 2002. 370 с.
2. Бурков В.Н., Кузнецов Н.А., Новиков Д.А. Механизмы управления в сетевых структурах. *Автоматика и Телемеханика*. 2002;12:96–115.
3. Болгова М.А., Львович Я.Е., Чопоров О.Н. Алгоритм принятия управленческих решений при межобъектном распределении ресурсного обеспечения в условиях реализации стратегии лидерства в сетевой организационной системе. *Вестник Российского нового университета. Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление»*. 2021;1:75–78.
4. Каширина И.Л., Львович Я.Е., Сорокин С.О. Модели и численные методы

- оптимизации формирования эффективной сетевой системы с кластерной структурой. *Информационные технологии*. 2015;9:657–661.
5. Каширина И.Л., Львович Я.Е., Швиндт А.Н. Нейросетевое моделирование результатов мониторингового оценивания деятельности вузов. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2017;5(4):359–371. Доступно по: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=416>.
 6. Львович И.Я., Львович Я.Е., Фролов В.Н. *Информационные технологии моделирования и оптимизации: краткая теория и приложения*. Воронеж: ИПЦ «Научная книга»; 2016. 444 с.
 7. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами. М.: Физматлит, 2007. 584 с.
 8. Горячко В.В., Кострова В.Н., Львович И.Я. Алгоритмизация выбора показателей эффективности деятельности вуза при управлении его положением в рейтинговой системе. *Вестник Воронежского государственного технического университета*. 2016;12(6):68–76.
 9. Горячко В.В. Алгоритмизация интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений по учету значимости объектов географически связанных организационных систем. *Вестник РосНОУ: Серия «Сложные системы: модели, анализ и управление»*. 2020;1:64–71.
 10. Горячко В.В., Львович Я.Е. Имитационный эксперимент по структурной и параметрической идентификации моделей интегрального оценивания мониторинго-рейтинговой информации о деятельности вузов. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2018;6(1). Доступно по: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=457>.
 11. Горячко В.В., Львович Э.М. Характеризация географически связанных организационных систем и подходов к интеллектуализации управления ими. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2019;7(3). Доступно по: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=650>.
 12. Львович И.Я., Михель А.А. Оптимизация финансовых средств на подготовку кадров с высшим образованием. *ФЭС: Финансы. Экономика. Стратегия. Серия «Инновационная экономика: человеческое измерение»*. 2014;9:10–16.
 13. Горячко В.В. Идентификация двухуровневой модели ГИС-ориентированного мониторинго-рейтингового оценивания в системе управления вуза. *Вестник Воронежского института высоких технологий*. 2018;25(2):21–24.
 14. Горячко В.В., Преображенский А.П., Чопоров О.Н. Оптимизация принятия управленческих решений с использованием результатов интенсивности территориального взаимодействия связанных систем. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2020612546 от 26.02.2020. М.: Роспатент; 2020.

REFERENCES

1. Aizenzon S.E., Barkalov S.A., Burkov V.N., Leontiev S.V. *Models and mechanisms of regional management*. М.: Library of OAO IKG ROEL Consulting; 2002. 370 p. (In Russ.).
2. Burkov V.N., Kuznetsov N.A., Novikov D.A. Management mechanisms in network structures. *Avtomatika i Telemekhanika = Automation and Telemechanics*. 2002;12:96–115. (In Russ.).
3. Bolgova M.A., Lvovich Ya.E., Choporov O.N. An Algorithm for Making Management Decisions in the Interobject Distribution of Resource Support in the Conditions of Implementing a Leadership Strategy in a Network Organizational System. *Vestnik*

- Rossiyskogo novogo universiteta. Seriya «Slozhnyye sistemy: modeli, analiz i upravleniye» = Bulletin of the Russian New University. Series «Complex Systems: Models, Analysis and Control»*. 2021;1:75–78. (In Russ.).
4. Kashirina I.L., Lvovich Ya.E., Sorokin S.O. Models and numerical methods for optimizing the formation of an efficient network system with a cluster structure. *Informatsionnyye tekhnologii = Information Technology*. 2015;9:657–661. (In Russ.).
 5. Kashirina I.L., Lvovich Ya.E., Shvindt A.N. Network-based simulation of the results monitoring evaluation of activity of universities. *Modelirovaniye, optimizatsiya i informatsionnyye tekhnologii = Modeling, Optimization and Information Technology*. 2017;5(4):359–371. Available from: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=416>. (In Russ.).
 6. Lvovich I.Ya., Lvovich Ya.E., Frolov V.N. *Information technologies for modeling and optimization: a brief theory and applications*. Voronezh: CPI «Scientific Book»; 2016. 444 p. (In Russ.).
 7. Novikov D.A. *Theory of management of organizational systems*. M.: Fizmatlit; 2007. 584 p. (In Russ.).
 8. Goryachko V.V., Kostrova V.N., Lvovich I.Ya. Algorithmization of the choice of performance indicators of the university when managing its position in the rating system. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Voronezh State Technical University*. 2016;12(6):68–76. (In Russ.).
 9. Goryachko V.V. Algorithmization of intellectual support for making managerial decisions to take into account the significance of objects of geographically related organizational systems. *Vestnik RosNOU: Seriya «Slozhnyye sistemy: modeli, analiz i upravleniye» = Bulletin of RosNOU: Series «Complex systems: models, analysis and management»*. 2020;1:64–71. (In Russ.).
 10. Goryachko V.V., Lvovich Ya.E. Imitation experiment on structural and parametric identification of models of integrated assessment of monitoring-rating information on higher educational institutions activities. *Modelirovaniye, optimizatsiya i informatsionnyye tekhnologii = Modeling, Optimization and Information Technology*. 2018;6(1). Available from: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=457>. (In Russ.).
 11. Goryachko V.V., Lvovich E.M. Characterization of geographically related organizational systems and approaches to the intellectualization of their management. *Modelirovaniye, optimizatsiya i informatsionnyye tekhnologii = Modeling, Optimization and Information Technology*. 2019;7(3). Available from: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=650>. (In Russ.).
 12. Lvovich I.Ya., Mikhel A.A. Optimization of financial resources for the training of personnel with higher education. *FES: Finansy. Ekonomika. Strategiya. Seriya «Innovatsionnaya ekonomika: chelovecheskoye izmereniye» = FES: Finance. Economy. Strategy. Series «Innovative Economy: Human Dimension»*. 2014;9:10–16. (In Russ.).
 13. Goryachko V.V. Identification of a two-level model of GIS-oriented monitoring and rating assessment in the university management system. *Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy = Bulletin of the Voronezh Institute of High Technologies*. 2018;25(2):21–24. (In Russ.).
 14. Goryachko V.V., Preobrazhensky A.P., Choporov O.N. Optimization of managerial decision-making using the results of the intensity of territorial interaction of connected systems. Certificate of registration of the computer program No. 2020612546 dated February 26, 2020. Moscow: Rospatent; 2020. (In Russ.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Горячко Вячеслав Вячеславович, Vyacheslav Vyacheslavovich Goryachko, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация. Moscow State University named after M.V. Lomonosov, Moscow, Russian Federation.

Борзова Анжела Сергеевна, Anzhela Sergeevna Borzova, доктор технических наук, Московский государственный технический университет гражданской авиации, Москва, Российская Федерация. Doctor of Technical Sciences, Moscow State Technical University of Civil Aviation, Moscow, Russian Federation.

Чопоров Олег Николаевич, Oleg Nikolaevich Choporov, доктор технических наук, профессор, Воронежский государственный медицинский университет им. Н.Н. Бурденко Воронеж, Российская Федерация. Doctor of Technical Sciences, Professor, Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko, Voronezh, Russian Federation.

e-mail: choporov_oleg@mail.ru
ORCID: [0000-0002-3176-499X](https://orcid.org/0000-0002-3176-499X)

Статья поступила в редакцию 16.09.2022; одобрена после рецензирования 23.09.2022; принята к публикации 30.09.2022.

The article was submitted 16.09.2022; approved after reviewing 23.09.2022; accepted for publication 30.09.2022.