

А.В. Линкина, Я.Е. Львович, Н.А. Рындин

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ В ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ С НЕОДНОРОДНОЙ СТРУКТУРОЙ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Аннотация. В статье рассматриваются модели и процедуры оптимизации принятия решений при управлении в организационных системах с неоднородной структурой пространственных компонентов. Показано, что неоднородность структуры определяется разнообразием типов, категорий и состояний пространственных элементов, в рамках которых объектами организационной системы реализуются деятельностные процессы. Предложена последовательность процедур экспертного оценивания, обеспечивающих оптимизацию принятия управленческих решений по распределению планового объема ресурсного обеспечения между объектами на реализацию деятельностных процессов в соответствии с заданными требованиями к показателям эффективности и плановым объемом результатов деятельности. Выбор окончательного варианта управленческого решения на множестве альтернативных осуществляется экспертами путем голосования с использованием правила большинства. Оптимизационное моделирование является основой принятия решений при распределении ресурсного обеспечения на трансформацию пространственных элементов для повышения эффективности деятельностных процессов и выбора подмножеств видов деятельности на заданные временные периоды. Формализация экстремальных и граничных требований при решении задач управления позволяет сформировать модели многоальтернативной оптимизации. Проведена проблемная ориентация алгоритмических процедур рандомизированного итерационного поиска с учетом особенностей организационной системы с неоднородной структурой пространственных элементов.

Ключевые слова: организационная система, управление, структура пространственных элементов, экспертное оценивание; оптимизация.

A.V. Linkina, Ya.E. Lvovich, N.A. Ryndin

OPTIMIZATION OF DECISION-MAKING IN MANAGEMENT IN ORGANIZATIONAL SYSTEMS WITH A HETEROGENEOUS STRUCTURE OF SPATIAL ELEMENTS

Abstract. The article discusses models and procedures for optimizing decision-making in management in organizational systems with a heterogeneous structure of spatial components. It is shown that the heterogeneity of the structure is determined by the variety of types, categories and states of spatial elements within which the objects of the organizational system implement activity processes. A sequence of expert assessment procedures is proposed to optimize management decision-making on the distribution of the planned amount of resource provision between objects for the implementation of activity processes in accordance with the specified requirements for performance indicators and the planned volume of performance results. The selection of the final version of the management decision on a variety of alternatives is carried out by experts by voting using the majority rule. Optimization modeling is the basis for decision-making when allocating of resources for the transformation of spatial elements to increase the efficiency of activity processes and the selection of subsets of activities for specified time periods. The formalization of extreme and boundary requirements in solving control problems makes it possible to form models of multi-alternative optimization. The problem orientation of algorithmic procedures of randomized iterative search is carried out, taking into account the features of an organizational system with a heterogeneous structure of spatial elements.

Keywords: organizational system; management; structure of spatial elements; expert assessment; optimization.

Линкина Анна Вячеславовна

старший преподаватель, Воронежский институт высоких технологий, город Воронеж. Сфера научных интересов: цифровая трансформация, искусственный интеллект, машинное обучение, бережливое управление. Автор более 140 опубликованных научных работ. AuthorID: 806560, SPIN-код: 5816-5940.

Электронный адрес: anna_linkina@rambler.ru

Львович Яков Евсеевич

доктор технических наук, профессор, Воронежский институт высоких технологий, город Воронеж. Сфера научных интересов: информационные системы и технологии, рассеяние радиоволн, автоматизированные системы управления. Автор более 1000 опубликованных научных работ. AuthorID: 100464, SPIN-код: 9029-3251, ORCID: 0000-0002-7051-3763.

Электронный адрес: science@vivt.ru

Рындин Никита Александрович

кандидат технических наук, доцент, Воронежский государственный технический университет, город Воронеж. Сфера научных интересов: цифровая среда, ресурсное обеспечение, автоматизированное производство. Автор более 60 опубликованных научных работ. AuthorID: 1043662, SPIN-код: 4408-0298.

Электронный адрес: science@vivt.ru

Введение

Для целого ряда территориально распределенных организационных систем [1] характерна зависимость эффективности и объемов деятельности от структуры пространственных элементов, в рамках которой осуществляется функционирование объектов $O_i, i = \overline{1, I}$ этой системы. Управляющий центр объединяет в организационное целое объекты с однородными видами деятельности $d = \overline{1, D}$ и устанавливает определенные требования к показателям эффективности, ресурсам и объемам деятельности [2; 3]. В отличие от однородного характера деятельности процессов, реализуемых объектами $O_i, i = \overline{1, I}$, структура пространственных элементов каждого i -го объекта имеет свои особенности и является неоднородной. Такое сочетание приводит к необходимости исследования процесса принятия управленческих решений для отдельного класса организационных систем – *организационных систем с неоднородной структурой пространственных элементов* (далее – ОНСПЭ). С целью учета неоднородности пространственных элементов они разделяются на определенные классы по типу, категории и состоянию. Каждому уровню классификации соответствуют определенные нумерационные множества [4]:

$m = \overline{1, M}$ – 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.

В этом случае структура пространственных элементов объекта $O_i, i = \overline{1, I}$ S_i зависит от конкретных значений рассматриваемых выше нумерационных множеств:

$$S_i = F(m_i, n_i, g_i). \tag{1}$$

Управляющий центр взаимодействует с объектами ОСНСПЭ по принятию управленческих решений в рамках следующих ресурсораспределительных и вариационно-динамических процессов:

- распределение планового объема ресурсного обеспечения R^0 между объектами, необходимого для реализации деятельности процессов при установленных требованиях к показателям эффективности f_j ,

$$f_j(R) \geq f_j^{pp}, \tag{2}$$

где $j = \overline{1, J}$ – нумерационное множество требований показателей к эффективности и запланированному объему результатов деятельности x^0 с учетом структуры пространственных элементов (1) и объема ресурсного обеспечения R ;

- распределение объема ресурсного обеспечения R^t , предусмотренного на мероприятия по трансформации пространственных элементов с целью выполнения условий (2);
- выбор подмножеств видов деятельности, варьируемых на временных периодах

$t = \overline{1, T}$ для i -го объекта $d_i(t, S_i) = \overline{1, \widehat{D}_i} \in \overline{1, \overline{D}}$ при установленных требованиях (2), где $d = \overline{1, \overline{D}}$ – нумерационное множество варьируемых видов деятельности в ОСНСПЭ; $d_i(t, S_i) = \overline{1, \widehat{D}_i}$ – нумерационное подмножество видов деятельности i -го объекта в период времени $t = \overline{1, T}$ при определенной структуре пространственных элементов S_i .

Характерным представителем ОСНСПЭ являются организационные системы аграрного профиля, использующие адаптивно-ландшафтные технологии земледелия [5; 6].

В работах [7; 8] показано, что описание [1], необходимое для решения задач принятия решения, формируется за счет применения ГИС-ориентированного моделирования на основе машинного обучения. Исходную цифровую информацию для пространственно-временного моделирования получают с использованием спутниковых навигационных технологий и беспилотных авиационных систем [9]. Информационно-аналитические системы [10] позволяют с использованием ГИС-ориентированных моделей распознавать тип пространственного элемента (агроландшафта) и вырабатывать рекомендации по подбору видов деятельности (вида и структуры севооборота). При этом указывается возможность выбора оптимального управленческого решения. Однако целесообразность использования формализованных методов экспертного оценивания и оптимизации [11] в полной мере не исследована.

Цель статьи – разработка процедур принятия решений при управлении в ОСНСПЭ с использованием экспертного оценивания и оптимизационного моделирования.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

- разработка процедуры принятия управленческого решения на основе экспертного оценивания;
- разработка процедур принятия управленческих решений с использованием оптимизационного моделирования.

*Разработка процедур принятия управленческого решения
на основе экспертного оценивания*

На основе последовательности процедур экспертного оценивания предлагается реализовать процесс принятия управленческого решения при распределении планового объема ресурсного обеспечения между объектами ОСНСПЭ. Исходными данными являются: плановый объем ресурсного обеспечения R_j , требования к показателям эффективности f_j^{sp} , $j = \overline{1, y}$, структура пространственных элементов объекта S_i , $j = \overline{1, I}$, запланированный объем результатов деятельности системы x^0 .

Сформируем последовательность экспертных процедур, позволяющую принять управленческое решение R_i , $i = \overline{1, I}$.

1. Оценка потребности в ресурсном обеспечении деятельности i -го объекта с позиции группы экспертов.

Доминирующий эксперт [11] устанавливает интервал, в пределах которого определяется уровень потребности \hat{R}_i , $i = \overline{1, I}$

$$\hat{R}_i^{\min} \leq \hat{R}_i \leq \hat{R}_i^{\max}, i = \overline{1, I}, \quad (3)$$

где \hat{R}_i^{\min} , \hat{R}_i^{\max} – минимальный и максимальный уровень потребности в ресурсном обеспечении деятельности i -го объекта при структуре S_i .

2. Оценка приоритетности выделения i -му объекту ресурсного обеспечения для реализации деятельностного процесса.

Для проведения экспертизы введем лингвистическую переменную: «В какой степени допустимо изменить потребность i -го объекта в ресурсном обеспечении деятельности

\hat{R}_i с учетом (3) так, чтобы при структуре пространственных элементов S_i выполнялось условие (2) по j -му показателю?». Функцию принадлежности этой переменной свяжем с градациями двух термов T_1 и T_2 : T_1 = (увеличить, уменьшить, уравнять, безразлично), T_2 = (сильно, существенно, несколько, немного, мало).

Аналитические выражения для вычисления значений функции принадлежности μ_{ij} , $i = \overline{1, I}$, $j = \overline{1, J}$ приведены в [11].

Полученные значения используются для определения коэффициента приоритетности i -го объекта по эффективному использованию ресурсного обеспечения R_i , $i = \overline{1, I}$:

$$\alpha_i = \frac{\sum_{j=1}^J \mu_{i,j}}{J}. \quad (4)$$

В рамках интервала (3) доминирующий эксперт предлагает несколько вариантов значений \hat{R}_i . Остальные эксперты выражают свое мнение путем голосования за определенный вариант. Вариант, необходимый для последующих процедур экспертного оценивания, выбирается по правилу большинства [11].

3. Формирование альтернативных вариантов распределения ресурсного обеспечения для реализации деятельностных процессов.

В отличие от известных схем распределения ресурсного обеспечения по величинам потребностей объектов [1] при формировании альтернативных вариантов предлагается добавить учет коэффициентов неоднородности (4) и варьирование значениями

$\widehat{R}_i^6, i = \overline{1, I}$ в пределах интервалов (3). Тогда имеем три варианта схем распределения:

- пропорционально потребностям и коэффициентам приоритетности:

$$R_i = \begin{cases} \widehat{R}_i^B, & \text{если } \sum_{i=1}^I \widehat{R}_i^B \leq R^o \\ \frac{\alpha_i \widehat{R}_i^B}{\sum_{i=1}^I \alpha_i \widehat{R}_i^B} R^o, & \text{если } \sum_{i=1}^I \widehat{R}_i^B \leq R^o, i = \overline{1, I}; \end{cases} \quad (5)$$

- пропорционально коэффициентам приоритетности и обратно пропорционально потребностям:

$$R_i = \begin{cases} \widehat{R}_i^B, & \text{если } \sum_{i=1}^I \widehat{R}_i^B \leq R^o \\ \frac{\alpha_i \widehat{R}_i^B}{\sum_{i=1}^I \alpha_i \widehat{R}_i^B} R^o, & \text{если } \sum_{i=1}^I \widehat{R}_i^B \leq R^o, i = \overline{1, I}; \end{cases} \quad (6)$$

- на основе параметрической зависимости

$$R_i = \widehat{R}_i^B - \beta(1 - \alpha_i), i = \overline{1, I}, \quad (7)$$

где параметр β выбирается из условия сбалансированности распределения ресурсного обеспечения $\sum_{i=1}^I (\widehat{R}_i^B - \beta(1 - \alpha_i)) = R^o$ для $R_i > 0$.

Кроме того, зададим три варианта значений \widehat{R}_i^B :

$$\widehat{R}_i^B = \widehat{R}_i, i = \overline{1, I}; \quad (8)$$

$$\widehat{R}_i^B = \widehat{R}_i^{мин}, i = \overline{1, I/2}, \quad \widehat{R}_i^B = \widehat{R}_i^{макс}, i = (\overline{I/2 + 1}, I); \quad (9)$$

$$\widehat{R}_i^B = \widehat{R}_i^{макс}, i = \overline{1, I/2}, \quad \widehat{R}_i^B = \widehat{R}_i^{мин}, i = (\overline{I/2 + 1}, I). \quad (10)$$

В результате получим девять альтернативных вариантов распределения ресурсного обеспечения $R_i, i = \overline{1, I}$.

4. Выбор окончательного управленческого решения.

В первую очередь множество альтернативных вариантов редуцируются по условию достижения запланированного объема результатов деятельности x^o :

$$\sum_{i=1}^I \alpha_i R_i \geq x^o, \quad (11)$$

где α_i – среднее значение пересчетного коэффициента для i -го объекта, определяемое по известным значениям реализации деятельностного процесса $x_i^p, R_i^p: \alpha_i = x_i^p / R_i^p$.

Если для всех девяти вариантов условие (11) не выполняется, то переходят к п. 1 и меняют экспертные оценки. Если условие (11) выполняется для всех или части альтернативных вариантов, то окончательное принятие управленческого решения $R_i, i = \overline{1, I}$ осуществляется экспертами путем голосования и выбора по правилу большинства [11].

*Разработка процедур принятия управленческих решений
с использованием оптимизационного моделирования*

Оптимизационное моделирование используется в качестве основы принятия управленческих решений в двух задачах: 1) распределение ресурсного обеспечения R^T и 2) выбор подмножеств видов деятельности.

Для решения первой задачи на начальном этапе реализуются процедуры, аналогичные процедурам 1, 2 предыдущего раздела. На основе экспертного оценивания устанавливается интервал, в пределах которого определяется уровень потребности $\hat{R}_i^T, i = \overline{1, I}$

$$\hat{R}_i^{T_{\min}} \leq \hat{R}_i^T \leq \hat{R}_i^{T_{\max}}, i = \overline{1, I}. \quad (12)$$

Далее экспертная информация используется для получения значений коэффициентов приоритетности i -го объекта для эффективного использования по требованиям (2) ресурсного обеспечения $\hat{R}_i^T, i = \overline{1, I}$ в рамках интервала (12) для следующих видов трансформации пространственных элементов i -го объекта, определяющих структуру S :

γ_{mi} – коэффициент приоритетной трансформации m -го типа пространственного элемента;

γ_{ni} – коэффициент приоритетной трансформации n -й категории пространственного элемента;

γ_{gi} – коэффициент приоритетной трансформации g -го состояния пространственного элемента.

С использованием экспертных оценок перейдем к формированию оптимизационной модели. Введем оптимизационные переменные альтернативного типа:

$$\begin{cases} x_{mi} = \begin{cases} 1, \text{ если } i - \text{му объекту выделяются средства на трансформацию типа} \\ \text{пространственного элемента} \\ 0, \text{ в противном случае, } i = \overline{1, I}; \end{cases} \\ x_{ni} = \begin{cases} 1, \text{ если } i - \text{му объекту выделяются средства на трансформацию} \\ \text{категории пространственного элемента} \\ 0, \text{ в противном случае, } i = \overline{1, I}; \end{cases} \\ x_{gi} = \begin{cases} 1, \text{ если } i - \text{му объекту выделяются средства на трансформацию} \\ \text{состояния пространственного элемента} \\ 0, \text{ в противном случае, } i = \overline{1, I}; \end{cases} \end{cases} \quad (13)$$

Определим зависимость экстремального и граничного требований задачи оптимизации [12] от переменных (13). В качестве экстремального требования определим необходимость максимизации эффективности мероприятий по трансформации пространственных элементов в соответствии с приоритетностью их реализации для объектов $O_i, i = \overline{1, I}$:

$$\sum_{i=1}^I \gamma_{mi} x_{mi} + \sum_{i=1}^I \gamma_{ni} x_{ni} + \sum_{i=1}^I \gamma_{gi} x_{gi} \rightarrow \max. \quad (14)$$

Граничные требования связаны с определенным объемом ресурсного обеспечения R^T

$$\sum_{i=1}^I \hat{R}_i^T (x_{mi} + x_{ni} + x_{gi}) \leq R^T \quad (15)$$

и дискретностью оптимизируемых переменных (13).

Объединив требования (13), (14) и (15), имеем следующую оптимизационную модель:

$$\begin{aligned} & \sum_{i=1}^I \gamma_{mi}x_{mi} + \sum_{i=1}^I \gamma_{ni}x_{ni} + \sum_{i=1}^I \gamma_{gi}x_{gi} \rightarrow \max, \\ & \sum_{i=1}^I \hat{R}_i^T (x_{mi} + x_{ni} + x_{gi}) \leq R^T, \\ & x_{mi} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}, x_{ni} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}, x_{gi} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}, i = \overline{1, I}. \end{aligned} \tag{16}$$

Задача (16) относится к задачам многоальтернативной оптимизации [13]. Для ее решения использован итерационный алгоритм направленного рандомизированного поиска, отличающегося включением в итерационный цикл рандомизированного поиска значений \hat{R}_i^T на основе равномерного распределения случайных значений \hat{R}_i^T на интервале (12) [12].

После останова итерационного рандомизированного поиска получим множество доминирующих вариантов решения задачи (6). Окончательное решение $x_{mi}^*, x_{ni}^*, x_{gi}^*, i = \overline{1, I}$ принимается путем выбора наилучшего варианта, удовлетворяющего требованиям (2).

Перейдем к формированию оптимизационной модели задачи выбора подмножества видов деятельности. Варьируемые виды деятельности в ОСНСПЭ определяются множеством $d = \overline{1, D}$. Необходимо выбрать из этого множества для i -го объекта $d_i = \overline{1, D_i}$ на каждый временной период $t = \overline{1, T}$ при установленном количестве видов деятельности $\overline{D_i} < D$ с учетом структуры пространственных элементов S_j , требований (2) и заданных условий предшествования по временным периодам

$$d'(t_1) < d''(t_2), \tag{17}$$

где $<$ – знак предшествования вида деятельности $d' \in \overline{1, \overline{D_i}}$ в период времени t_1 ввиду деятельности $d'' \in \overline{1, \overline{D_i}}$ в период времени t_2 ; $t_1 < t_2, t_1, t_2 \in \overline{1, T}$.

В первую очередь аналогично п. 2 первого раздела определим на основе экспертного оценивания коэффициентов влияния d -го вида деятельности на выполнение требований (2) по каждому j -му показателю:

$$\delta d_j, d = \overline{1, D}, j = \overline{1, J}. \tag{18}$$

Задача назначения видов деятельности на t -й временной период решается для каждого i -го объекта, но оптимизационная модель имеет одинаковую структуру. Поэтому при формировании оптимизационной модели подмножество видов деятельности на t -й временной период обозначим $d(t) = \overline{1, \overline{D}}$.

Введем альтернативные оптимизируемые переменные:

$$x_{dt} = \begin{cases} 1, \text{ если } d - \text{й вид деятельности назначается на } t - \text{й временной период,} \\ 0, \text{ в противном случае, } t = \overline{1, T}, d(t) = \overline{1, \overline{D}}. \end{cases} \tag{19}$$

Экстремальное требование эффективности деятельности формализуем с использованием коэффициентов влияния (18):

$$\sum_{t=1}^T \sum_{d=1}^D \sum_{j=1}^J \delta d_j x_{dt} \rightarrow \max_{x_{dt}}. \quad (20)$$

В качестве граничных требований выступают условия предшествования (17), ограничения количества видов деятельности \widehat{D}

$$\sum_{d=1}^D x_{dt} = \widehat{D}, t = \overline{1, T} \quad (21)$$

и дискретность оптимизируемых переменных (19).

Объединив (17), (19), (20), (21), получим следующую оптимизационную модель:

$$\begin{aligned} & \sum_{t=1}^T \sum_{d=1}^D \sum_{j=1}^J \delta d_j x_{dt} \\ & d'(t_1) < d''(t_2), d' \neq d'' \in \overline{1, \widehat{D}}; t_1 < t_2 \in \overline{1, T}, \\ & \sum_{d=1}^D x_{dt} = \widehat{D}, t = \overline{1, T}, \\ & x_{dt} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}, d = \overline{1, D}, t = \overline{1, T}. \end{aligned} \quad (22)$$

Задача (22) относится к классу задач многоальтернативной оптимизации [13]. Алгоритмическая процедура ее решения, рассмотренная в [13], дополняется проверкой по каждой итерации рандомизированного поиска выполнения условия предшествования. В результате получим множество доминирующих вариантов решения (22). Окончательное управленческое решение x_{dt} , $d = \overline{1, D}$, $t = \overline{1, T}$ соответствует варианту с наилучшим выполнением условий (2).

Заключение

Целый класс организационных систем, в которых управляющим центром объединены объекты с территориально распределенной деятельностью средой, характеризуется неоднородностью структуры с разнообразием типов, категорий и состояний этих элементов. Поэтому требуется проблемная ориентация методов принятия решений на особенности формализованного описания ОСНСПЭ при управлении ресурсным обеспечением и реализацией деятельностных процессов.

Для принятия решений при распределении планового объема ресурсного обеспечения деятельностной среды каждого объекта целесообразным является формирование последовательности процедур экспертного оценивания. Процедуры направлены, с одной стороны, на установление влияния ресурсного обеспечения на достижение требований управляющего центра к показателям эффективности ОСНСПЭ, с другой – на получение планового объема результатов деятельности.

Эффективным подходом к принятию управленческих решений по управлению ресурсным обеспечением для трансформации пространственных элементов и временной вариативностью структуры деятельностной среды является интеграция процедур экспертного оценивания и оптимизационного моделирования.

Экспертные решения позволяют определить ряд параметров, необходимых для формализованного описания экстремальных и граничных требований управляющего центра в задачах многоальтернативной оптимизации. Учет особенностей ОСНСПЭ осуществляется в рамках итерационных процедур рандомизированного поиска наилучшего решения на множестве доминирующих.

Литература

1. Львович Е.Я., Львович И.Я., Чопоров О.Н. и др. Оптимизация цифрового управления в организационных системах : монография / Под общ. ред. Я.Е. Львовича. Воронеж : Издательско-полиграфический центр, 2021. 191 с. ISBN 978-5-4446-1550-8. EDN RYDLUX.
2. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами. М. : Московский психолого-социальный университет, 2005. 584 с. ISBN 5-89502-766-0. EDN PFGVIJ.
3. Бурков В.Н., Кузнецов Н.А., Новиков Д.А. Механизмы управления в сетевых структурах // Автоматика и телемеханика. 2002. № 12. С. 96–115. EDN NUNFMV.
4. Еришов Ю.П. Теория нумераций. М. : Наука, 1977. 416 с.
5. Ренгартен Г.А., Коробицын С.Л. Инновационные технологии в земледелии // Инновационное развитие агропромышленного комплекса как фактор конкурентоспособности: проблемы, тенденции, перспективы : Коллективная монография / А.З. Анохина, Н.Ф. Баранов, В.Н. Батманов и др. Ч. 1. Киров : Вятская государственная сельскохозяйственная академия, 2020. С. 53–63. EDN NHHFBV.
6. Лопырев М.И., Линкина А.В. Модернизация систем земледелия на эколого-ландшафтной основе // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2012. № 3 (34). С. 49–56. EDN RONZSR.
7. Линкина А.В. Применение машинного обучения при организации адаптивно-ландшафтных систем земледелия // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2023. Т. 85. № 4 (98). С. 128–132. EDN NHZTBL. DOI: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2023-4-128-132>
8. Линкина А.В., Елсуков В.Д., Тришин А.А. Использование моделей машинного обучения при решении задач в отрасли органического сельского хозяйства // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2023. Т. 85. № 4 (98). С. 133–138. EDN GYUEFS. DOI: [10.20914/2310-1202-2023-4-133-138](https://doi.org/10.20914/2310-1202-2023-4-133-138)
9. Линкина А.В., Осипов Е.И. Применение спутниковых навигационных технологий и БАС в интересах управления агропромышленным комплексом // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2023. Т. 85. № 4 (98). С. 122–127. EDN UBLVUK. DOI: [10.20914/2310-1202-2023-4-122-127](https://doi.org/10.20914/2310-1202-2023-4-122-127)
10. Линкина А.В., Роцин В.С. Разработка функциональных алгоритмов и концептуальной модели информационно-аналитической системы поддержки управления региональным агропромышленным комплексом // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2023. Т. 85. № 4 (98). С. 115–121. EDN EOEVIY. DOI: [10.20914/2310-1202-2023-4-115-121](https://doi.org/10.20914/2310-1202-2023-4-115-121)
11. Львович И.Я. Принятие решений на основе оптимизационных моделей и экспертной информации. Воронеж : Воронежский институт высоких технологий, 2023. 232 с. ISBN 978-5-4446-1788-5.
12. Львович И.Я., Львович Я.Е., Фролов В.Н. Информационные технологии моделирования и оптимизации: краткая теория и приложения. Воронеж : Воронежский институт высоких технологий; Научная книга, 2016. 444 с. ISBN 978-5-4446-0836-4. EDN ZUZDNN.
13. Львович Я.Е. Многоальтернативная оптимизация: теория и приложения. Воронеж : Кварта, 2006. 415 с. ISBN 5-89609-072-2. EDN QWNPUN.

References

1. Lvovich Ya.E., Lvovich I.Ya., Choporov O.N., et al (2021). *Optimizatsiya tsifrovogo upravleniya v organizatsionnykh sistemakh* [Optimization of digital management in organizational systems] : Monograph. Voronezh : Voronezh : Publications Centre. 191 p. ISBN 978-5-4446-1550-8. (In Russian).

2. Novikov D.A. (2005) *Teoriya upravleniya organizatsionnymi sistemami* [Theory of management of organizational systems]. Moscow : Moscow Psychological and Social University Publ. 584 p. (In Russian).
3. Burkov V.N., Kuznetsov N.A., Novikov D.A. (2002) Control mechanisms in network structures. *Avtomatika i Telemekhanika*. No. 12. Pp. 96–115. (In Russian).
4. Ershov Yu.P. (1977) *Teoriya numeratsii* [Theory of numbering]. Moscow : Nauka Publ. 416 p. (In Russian).
5. Rengarten G.A., Korobitsyn S. L. (2020) Innovative technologies in agriculture. In: Anokhina A.Z., Baranov N.F., Batmanov V.N. et al. *Innovatsionnoe razvitie agropromyshlennogo kompleksa kak faktor konkurentosposobnosti: problemy, tendentsii, perspektivy* [Innovative development of the agro-industrial complex as a factor of competitiveness: Problems, trends, prospects] : Collective monograph. Kirov : Vyatka State Agricultural Academy Publ. Pp. 53–63. (In Russian).
6. Lopyrev M.I., Linkina A.V. (2012) Modernization of farming systems on an ecological and landscape basis. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. No. 3 (34). Pp. 49–56. (In Russian).
7. Linkina A.V. (2023) The use of machine learning in the organization of adaptive landscape farming systems. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. Vol. 85. No. 4 (98). Pp. 128–132. DOI: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2023-4-128-132> (In Russian).
8. Linkina A.V., Yelsukov V.D., Trishin A.A. (2023) The use of machine learning models in solving problems in the field of organic agriculture. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. Vol. 85. No. 4 (98). Pp. 133–138. DOI: 10.20914/2310-1202-2023-4-133-138 (In Russian).
9. Linkina A.V., Osipov E.I. (2023) Application of satellite navigation technologies and UAS in the interests of agro-industrial complex management. *Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. Vol. 85. No. 4 (98). Pp. 122–127. DOI: 10.20914/2310-1202-2023-4-122-127 (In Russian).
10. Linkina A.V., Roshchin V.S. (2023) Development of functional algorithms and a conceptual model of an information and analytical management support system for the regional agro-industrial complex. *Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. Vol. 85. No. 4 (98). Pp. 115–121. DOI: 10.20914/2310-1202-2023-4-115-121 (In Russian).
11. Lvovich I.Ya. (2023) *Prinyatie reshenii na osnove optimizatsionnykh modelei i ekspertnoi informatsii* [Decision-making based on optimization models and expert information]. Voronezh : Voronezh Institute of High Technology Publ. 232 p. ISBN 978-5-4446-1788-5. (In Russian).
12. Lvovich I.Ya., Lvovich Ya.E., Frolov V.N. (2016) *Informatsionnye tekhnologii modelirovaniya i optimizatsii: kratkaya teoriya i prilozheniya* [Information technologies of modeling and optimization: Brief theory and applications]. Voronezh : Voronezh Institute of High Technology; Nauchnaya kniga Publ. 444 p. ISBN 978-5-4446-0836-4. (In Russian).
13. Lvovich Ya.E. (2006) *Mnogoal'ternativnaya optimizatsiya: teoriya i prilozheniya* [Multi-alternative optimization: Theory and applications]. Voronezh : Kvarta Publ. 415 p. ISBN 5-89609-072-2. (In Russian).