DOI: 10.12731/2227-930X-2025-15-1-356 **EDN: QRGCKZ**
УДК 656.078

CC BY NC ND

Научная статья | Транспортные и транспортно-технологические системы

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ МОДЕЛИ ПОИСКА ОПТИМАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ В СЛОЖНЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ РЕСУРСАМИ

Р.А. Халтурин, Р.О. Судоргин, Н.С. Акиньшин

Аннотация

Обоснование. Актуальность статьи обусловлена сложностью и динамичностью систем распределения ресурсов (РР-систем), которые включают множество изменяющихся во времени элементов, как внутри системы, так и во внешней среде, и требуют организации в виде иерархических подсистем. Неопределённость информационной составляющей и факторов влияния делает необходимым использование эффективных аналитических инструментов, основанных на теории принятия решений в условиях неопределённости, для объективной оценки и управления такими системами.

Цель. Разработать комплекс математических моделей поиска оптимальных решений в сложных системах управления ресурсами в условиях неопределенности, необходимый при разработке структуры распределения.

Материалы и методы. В материале используется комбинация математического моделирования, теории принятия решений и методов оптимизации для решения многокритериальных задач в сложных системах, особенно в РР-системах транспортных комплексов. Для задач оптимизации в условиях определённости модель включает множество допустимых решений XX и векторный критерий f(x)f(x) для оценки альтернатив. В многокритериальных задачах в условиях неопределённости отсутствие единого математического аппарата тре-

бует применения разнородных методов, таких как комбинаторика, теория графов, эвристика, линейное и динамическое программирование, а также поисковые алгоритмы. Исследование подчеркивает сложности применения этих методов в сложных системах, где внешние и внутренние неопределённости затрудняют формулировку ограничений и интеграцию качественных и количественных критериев. Также рассматривается преобразование многокритериальных задач в однокритериальные с набором ограничений, акцентируя внимание на ограничениях, вызванных непредсказуемыми внешними факторами, и необходимости экспериментальной проверки в сложных транспортных системах.

Результаты. Основная сложность в построении эффективных РР-систем связана с значительной мощностью множества качественных критериев, элементы которого, с трудом формализируются и встраиваются в математические модели. Качественные критерии требуют использования порядковых шкал, где допустимы только монотонные преобразования, что ограничивает количественное сравнение. Для решения многокритериальных задач предложены методы, основанные на бинарных отношениях и функциях ценности, которые позволяют формализовать предпочтения и ранжировать альтернативы. Эти подходы, включая линейные свертки и функции полезности, повышают объективность решений в сложных системах, таких как транспортные комплексы, где присутствуют как количественные, так и качественные критерии, однако их применение требует тщательного анализа и адаптации к специфике задач.

Ключевые слова: аналитические методы; модели оптимизации; распределение ресурсов; сложная система; РР-системы; многокритериальные методы

Для цитирования. Халтурин, Р. А., Судоргин, Р. О., & Акиньшин, Н. С. (2025). Теоретическое обоснование модели поиска оптимальных решений в сложных системах управления ресурсами. *International Journal of Advanced Studies*, *15*(1), 214–233. https://doi.org/10.12731/2227-930X-2025-15-1-356

Original article | Transport and Transport-Technological Systems

THEORETICAL JUSTIFICATION OF THE MODEL OF SEARCH FOR OPTIMAL SOLUTIONS IN COMPLEX RESOURCE MANAGEMENT SYSTEMS

R.A. Khalturin, R.O. Sudorgin, N.S. Akinshin

Abstract

Background. The relevance of the article is determined by the complexity and dynamism of resource allocation systems (RR systems), which include numerous time-varying elements, both within the system and in the external environment, and require organization into hierarchical subsystems. The uncertainty of the informational component and influencing factors necessitates the use of effective analytical tools based on decision theory under uncertainty for the objective assessment and management of such systems.

Purpose. To develop a set of mathematical models for finding optimal solutions in complex resource management systems under uncertainty, required for designing resource allocation structures.

Materials and methods. The study employs a combination of mathematical modeling, decision theory, and optimization techniques to address multicriteria problems in complex systems, particularly in resource allocation systems (RR systems) within transport complexes. The classical decision-making approach involves selecting the optimal solution from a set of alternatives formalized through mathematical models representing the problem situation. For deterministic optimization tasks, the model includes a set of feasible solutions XX and a vector criterion f(x)f(x) to evaluate alternatives. In multicriteria optimization under uncertainty, the lack of a unified mathematical framework requires the use of diverse methods such as combinatorics, graph theory, heuristics, linear and dynamic programming, and search algorithms. The research highlights the challenges of applying these methods in complex systems, where external and internal

uncertainties complicate the formulation of constraints and the integration of qualitative and quantitative criteria. The transformation of multicriteria problems into single-criterion formulations with constraints is also explored, emphasizing limitations imposed by unpredictable external factors and the need for experimental validation in complex transport systems.

Results. The main challenge in building effective resource allocation systems (RR systems) lies in the large number of qualitative criteria, which are difficult to formalize and integrate into mathematical models. Qualitative criteria, such as scoring or expert judgments, require the use of ordinal scales, where only monotonic transformations are permissible, limiting quantitative comparison. To address multicriteria problems, methods based on binary relations and value functions are proposed, enabling the formalization of preferences and ranking of alternatives. These approaches, including linear aggregations and utility functions, enhance the objectivity of decisions in complex systems, such as transport complexes, where both quantitative and qualitative criteria are present. However, their application requires careful analysis and adaptation to the specifics of the tasks.

Keywords: analytical methods; optimization models; resource allocation; complex systems; RR systems; multicriteria methods

For citation. Khalturin, R. A., Sudorgin, R. O., & Akinshin, N. S. (2025). Theoretical justification of the model of search for optimal solutions in complex resource management systems. *International Journal of Advanced Studies*, *15*(1), 214–233. https://doi.org/10.12731/2227-930X-2025-15-1-356

Введение

Особенностью разработки распределения ресурсов в системах управления является то, что данный класс сложных систем предполагает наличие сложных функциональных или неявных связей между всеми подсистемами и элементами и, как правило, с противоречивым целеполаганием. Исследованием методов решения задач в сложных системах занимается специальная теория – теория сложных систем [1]. По своей структуре системы распределения

ресурсов (РР-системы) – это большое, как правило, нестабильное изменяющиеся во времени число элементов, разделяемых по качественным результативным показателям, требующее организации в виде отдельных подсистем входов в систему [2; 3]. Причем это могут быть как элементы самой системы в рамках установленных границ, так и элементов внешней среды. По связям между элементами РР-системы – это сложное изменяющиеся во времени образование, имеющее иерархическую структуру с неопределённую информационной составляющей (природе факторов влияния) ситуацию и т.д.

Материалы и методы

В традиционных рамках теории принятия решений центральным элементом любого операционного процесса является осознанный выбор единственного варианта из конечного набора вероятных альтернатив. Эти альтернативы могут называться стратегиями, решениями или схемами, названия которых варьируются в зависимости от специфики контекста сценария. Этот процесс отбора обычно осуществляется организацией или коллективом, в конкретном случае именуемым ответственной стороной, принимающей решения (ЛПР), на которую возложена задача согласования выбранного курса действий с заранее определенными целями. ЛПР уполномочен завершить этот отбор и несет ответственность за конечные результаты, как положительные, так и отрицательные. Чтобы повысить конкретику данного процесса, часто используются математические методы, требующие построения формальной модели, которая инкапсулирует проблему принятия решения в структурированном, поддающемся количественной оценке формате [4,5].

В сценариях, где проблемы оптимизации возникают в условиях абсолютной определенности, т.е. когда ни стохастические переменные, ни неопределенные факторы не оказывают влияния на систему, разработанная модель включает в себя полный набор,

обозначаемый как *X*, который охватывает все возможные решения. Затем задача состоит в том, чтобы найти решение, максимально оптимальное в соответствии с заданными критериями. Кроме того, модель интегрирует механизм постановки целей, который определяет цели, к которым необходимо стремиться. В случаях, связанных с многокритериальной оптимизацией, каждое потенциальное решение, представленное в виде *x*, оценивается с помощью векторнозначной функции *f(x)*, которая сопоставляет решение с многомерным показателем производительности. Затем процесс определения оптимального решения сводится к систематическому сравнению этих векторных выходных данных с целью выделения конфигурации, которая дает наиболее благоприятную оценку по всем рассматриваемым параметрам. Данный методический подход обеспечивает точное и воспроизводимое решение задачи оптимизации в рамках детерминированных условий:

$$Y = f(x) = \{y \in E^m | y = f(x), x \in X\} \quad (1)$$

где $f = (f_1, f_2, \ldots, f_m)$ – векторный критерий; E^m – m-мерное числовое пространство, называемое критериальным.

Теоретические исследования

Научная проблема, связанная с поиском оптимального решения многокритериальных задач в условиях неопределенности, определяется отсутствием до последнего времени (хотя бы для одного класса задач для всех сложных систем) адекватного этим задачам математического аппарата, что приводит к необходимости использования при решении названных задач множества разнородных математических и интуитивных методов, построенных на различной основе (комбинаторика, теория графов, эвристика, линейное и динамическое программирование, поисковые методы, методы теории принятия решений и т.д.) [6-8]. Покажем на ряде примеров и пояснений обоснованность данного утверждения. В-первую очередь следует обратить внимание на то, что для решения многокритериальных задач применяют ряд формальных приемов.

Для упрощения решения задач многокритериальной оптимизации часто исходное пространство E^m приводят к евклидову, снабжая его метрикой:

$$\|y - y^0\| = \left[\sum_{i=1}^{m}\left(y_i - y_i^0\right)^2\right]^{1/2} \quad (2)$$

Подобный метод находит применение и при решении многокритериальных задач в системах управления. Однако в реальных практических условиях, особенно в сложных открытых системах, построение аналогичного YY-пространства зачастую оказывается невозможным. Поэтому вводят более обширное множество, векторы которого позволяют проводить более содержательную интерпретацию:

$$\hat{Y} \subseteq E^m \quad (3)$$

Как правило, множество $\hat{Y} \subseteq Y$ всех достижимых (то есть гипотетически возможных) оценок имеет форму многомерного параллелепипеда:

$$Y^{\times} = Y_1 \cdot Y_2 \cdot \ldots \cdot Y_m \quad (4)$$

В определенных аналитических контекстах уточненный набор, обозначаемый как Y, выводится из исходного набора, обозначаемого как Y_x, путем применения дополнительных ограничивающих условий. Эти ограничения вводятся стратегически для устранения избыточных или явно недостижимых конфигураций векторов, тем самым оптимизируя пространство решений. Применение набора Y дает ряд методологических преимуществ, в первую очередь за счет облегчения рассмотрения более широкого спектра задач оптимизации, а не отдельной изолированной задачи. В частности, для каждой задачи в рамках этого класса набор Y содержит соответствующий набор достижимых оценочных показателей, гарантирующих, что все возможные результаты будут представлены в его рамках. Данный структурированный подход обеспечивает более комплексный анализ, позволяя исследователям систематически изучать, как меняется оптимальное решение в ответ на изменения ключевых параметров. Определяя проблемное пространство в терминах Y, становится возможным исследовать чувствительность

оптимальной конфигурации к изменениям базовых переменных, тем самым выясняя взаимозависимости между входными данными системы и результатами ее работы. Такая расширенная перспектива повышает надежность процесса оптимизации, обеспечивая более глубокое понимание поведения системы в различных условиях и поддерживая разработку более адаптивных и эффективных стратегий принятия решений.

В подобных задачах множество $\boldsymbol{X}$ обычно определяется в рамках более общего множества $D \subset E^n$ помощью специальных ограничений, чаще всего представленных в виде неравенств:

$$X = \{x \in D | g_1(x) \geq 0, \dots, g_k(x) \geq 0\}, \quad (5)$$

где $g_j, j = 1,2, \dots, k$ – числовые функции, определенные на D и составляющие вектор-функцию ограничений $g = (g_1, g_2, \cdots, g_k)$. При этом считается, что и $f_1, f_2, \cdots, f_m$ также определены на D.

В качестве множества D обычно выступает либо всё пространство E^n, либо некоторое его специфическое подмножество, например неотрицательный ортант $E^n_{\geq}$, образующий всеми векторами с неотрицательными компонентами:

$$E^n_{\geq} = \{x \in E^n | x_1 \geq 0, \dots, x_n \geq 0\}, \quad (6)$$

На практике выделение множества D из E^n происходит посредством наиболее очевидных ограничений на переменные x_i. Такой подход часто используется в системах распределения ресурсов (РР-системах), где, например, если x_i редставляет требуемое количество ресурсов типа i, вводят ограничение $x_i \geq 0$ принимают соответствующее множество D:

$$D = E^n_{\geq}. \quad (7)$$

При этом важно учитывать, что в системах распределения ресурсов (РР-системах) очевидные ситуации могут отсутствовать из-за ряда факторов. Преобразование многокритериальных задач в однокритериальные с определённым набором ограничений может быть оправдано в условиях неопределённости, вызванной поведением внутренней среды, особенно в сложных многоуровневых системах с большим количеством управляемых объектов [10,11].

Но неопределенность, вызываемая поведением внешней среды виде непредсказуемого изменения вектора факторного пространства внешних возмущений, не позволит объективно назначать необходимые для исследования ограничения. Понятие объективно здесь следует трактовать следующим образом, для того чтобы назначить ограничения необходимо проводить специальные исследования экспериментального характера, что однозначно приводить к непригодности данного подхода в применении к сложным транспортным системам.

Помимо прочего, при решении многокритериальных задач в РР-системах транспортного комплекса осложнением является наличие критериев, характеризующих качество. В задачах принятия индивидуальных решений критерии выступают в роли мер интенсивности ключевых признаков решений, и их можно задавать как в качественной, так и в количественной форме [12-14].

Результаты и обсуждения

Основной сложностью в решении задач построения эффективных РР-систем, является не только наличие качественных критериев, но и наличие достаточно большого их количества. Качественные критерии требуют особого внимания. Обычно каждому критерию сопоставляют набор разрешённых преобразований, обозначаемый как Ф, и говорят, что критерий обладает шкалой типа Ф. Как правило, этот набор определяется одновременно с самим критерием, но в отдельных случаях идентификация типа шкалы становится самостоятельной и достаточно сложной задачей.

Нередко многокритериальные задачи с количественными критериями искусственно преобразуются в задачи с качественными критериями, которые затем решаются путём введения интервальных шкал.

Самый распространённые и не желательные случаи переформатирования качественных критериев в количественные критерии – это применения шкал отношений типа:

$$\Phi = \Phi_0 = \{\varphi | \varphi(z) = kz, k \geq 0\} \quad (8)$$

или

$$\Phi = \Phi_0 = \{\varphi | \varphi(z) = kz + l, k \geq 0\} \quad (9)$$

В данном случае допустимыми преобразованиями являются умножение на положительное число k или умножение на k с добавлением произвольного числа l. Однако такие преобразования, основанные на произвольном назначении параметров, нельзя считать научно обоснованными.

При этом качественные критерии, используемые в задачах оптимизации, характеризуются наименее строгой (размытой) порядковой шкалой, для которой допустимый набор преобразований Фп ограничивается лишь монотонно возрастающими функциями:

$$\Phi_{\text{п}} = \{\varphi | z^1 > z^2 \rightarrow \varphi(z^1) > \varphi(z^2)\} \quad (10)$$

где φ – допустимое преобразование критерия f_i, если функция $\varphi(f_i)$ вновь оказывается критерием измеряющим (задающим) то же свойство.

В случае качественных критериев, оцениваемых по порядковой шкале, единственными допустимыми сравнениями между значениями являются те, которые выражаются с помощью таких относительных операторов, как «больше», «меньше» или «равно». Эти соотношения остаются постоянными при любом монотонном преобразовании, тем самым сохраняя иерархическую структуру данных независимо от применяемого конкретного функционального отображения. Попытки количественно оценить величину превосходства, например, определить коэффициент, по которому одно значение превышает другое, или точную степень их различия, в корне ошибочны в рамках рассматриваемой системы. Таким попыткам недостает математической обоснованности, поскольку порядковые шкалы не поддерживают арифметические операции; даже если эти вычисления приводят к приемлемому решению, они не дают гарантии достижения максимальной эффективности из-за отсутствия кардинальной основы для измерения.

Появление критериев, определяемых порядковой шкалой, обычно наблюдается в сценариях, где необходимо систематически ранжировать набор решений. Данный процесс ранжирования включает в себя расположение решений в порядке возрастания или убывания на основе относительной силы или значимости определенного атрибута. Впоследствии каждому решению присваивается числовое значение, соответствующее его положению в этой упорядоченной последовательности, отражающее интенсивность оцениваемого свойства. Следует отметить, что такие рейтинги часто составляются на основе субъективных оценок, на примере экспертных оценок предпочтительности или желательности. Наиболее распространенная методология таких оценок предполагает использование балльной системы, при которой эксперты присваивают каждому варианту отдельные баллы. Несмотря на то, что эти оценки являются числовыми, они остаются субъективными, основанными на качественном восприятии оценщиков, а не на объективных, поддающихся количественной оценке показателях. Такая зависимость от экспертных оценок, основанных на порядковых показателях, подчеркивает как полезность, так и ограниченность таких подходов в контексте принятия решений, требующих детальной расстановки приоритетов.

Методы экспертного оценивания получили широкое распространения при решении задач в сложных открытых системах, как раз в силу отсутствия или не знания более совершенных методов снятия неопределенности. Например, одним из широко известных методов решения многокритериальных задач является подход, при котором векторный критерий f_i сводят к единой функции – обобщённому (агрегатному) критерию $F(f_1, f_2, \dots, f_m)$.

Наиболее часто используемой формой обобщённого критерия является линейная «свертка»

$$F_{\sum} = \sum_{i=1}^{m} \mu_i f_i \qquad (11)$$

где μ_i – некоторые положительные числа, характеризующие относительную важность критерия (коэффициенты относительной важности); f_i – векторный критерий.

Данная методология демонстрирует удовлетворительную степень объективности при применении к сценариям решения проблем, основанным на количественных критериях, где можно систематически оценивать поддающиеся измерению и численно точные данные. Однако ее полезность значительно снижается при решении задач многокритериальной оптимизации, которые включают качественные критерии. Это ограничение подтверждается целым рядом научных исследований, которые в совокупности выявляют конкретизированную «внутреннюю» неопределенность, проистекающую из отсутствия общепризнанных научных методов или установленных эмпирическим путем протоколов, способных точно решить такие проблемы.

Критерии, оцениваемые с помощью механизмов подсчета баллов, представляют собой гибридную систему, разделяющую чисто количественные и качественные критерии. В этих оценочных критериях числовые оценки сочетаются с интерпретационными суждениями, что не делает их ни полностью объективными, ни полностью субъективными. Утверждение, касающееся значений критериев, определенных в рамках конкретных типологий шкал, считается обоснованным только в том случае, если его достоверность сохраняется при всех допустимых преобразованиях, присущих структуре шкалы, — например, монотонных преобразованиях в случае порядковых шкал или линейных преобразованиях для интервальных шкал. Эта инвариантность гарантирует, что реляционные свойства или сравнительные утверждения остаются согласованными, независимо от применяемого математического выражения.

Следовательно, при анализе и решении практических задач многокритериальной оптимизации в рамках сложных систем планирования и обеспечения эффективности (РР) крайне важно использовать исключительно те теоретические построения, операционные определения, аналитические методы и математические инструменты, которые позволяют получать надежные, воспроиз-

водимые выводы, практические результаты или рекомендации, основанные на фактических данных. Тем не менее подходы, полностью исключающие субъективные суждения, не всегда применимы, особенно в условиях, когда преобладают качественные критерии. Присущая таким критериям субъективность, часто обусловленная человеческим восприятием, мнением эксперта или контекстуальной интерпретацией, требует сбалансированной интеграции объективной математической строгости с разумно применяемыми качественными знаниями, чтобы эффективно ориентироваться в тонкостях этих многогранных задач оптимизации.

В направлении повышения объективности принимаемых решений развиваются методы, основанные на назначении различных видов предпочтений – посредством парных сравнений или оценок. Таким образом, выбор оптимального решения из множества $\boldsymbol{X}$ всех альтернатив может осуществляться на основе данных о предпочтениях между критериями, описываемыми набором $(f_1, f_2, \ldots, f_m)$. В теории принятия решений разработаны специальные универсальные способы описания предпочтений. Одним из наиболее общих и широко используемых подходов является описание предпочтений на «языке» бинарных отношений. Бинарные отношения, в свою очередь, могут применяться не только для описания предпочтений, но и для моделирования попарных связей различного характера между объектами произвольной природы.

Как известно, бинарным отношением ρ на (или во) множестве A называется подмножество $A = A \times A$, то есть совокупность упорядоченных пар (a, b), где $a, b \in A$. Если $(a, b) \in \rho$, то a и b находятся в отношении ρ и данное утверждение записывается как: $a\rho b$.

К «бинарным» отношениям применимы все теоретико-множественные операции, включая объединение, пересечение, образования разности и др. Для данного типа отношений вводится и специфические операции. Так, под ρ^{-1} понимается отношение, к бинарному отношению ρ, которое определяется следующим образом:

$$\rho^{-1} = \{(a,b) \in A^2 | (b,a) \in \rho\} \quad (12)$$

то есть пара (*a, b*), включается в ρ^{-1} тогда и только тогда, когда пара (*b*, *a*) входит в ρ.

Далее проводится классификация бинарных отношений в зависимости от условий исследуемых задач. Отношения могут быть полными или неполными (частичными), также именуемыми несвязными.

Например, отношение ρ называют рефлексивным, если пара (a,a) ∉ ρ, для всякого a ∈ A, и иррефлексивным, если (a,a) ∉ ρ, то есть aρa не верно ни для одного a ∈ A.

Отношение ρ называется симметричным, если из (a,b) ∈ ρ, следует, что (b,a) ∈ ρ, и ассиметричным, если (a,b) ∈ ρ, влечет (a,b) ∉ ρ, а также антисимметричным, если (a,b) ∈ ρ и (a,b) ∈ ρ вытекает a = b.

Иррефлексивное и транзитивное отношение (а следовательно, и асимметричное) называется строгим (частичным) порядком, в то время как рефлексивное и транзитивное отношение определяется как (частичный) квазипорядок (или предпорядок).

Считается, что полный квазипорядок R на A может быть представлен числовой функцией ψ, если aRb выполняется тогда и только тогда, когда:

$$\psi(a) > \psi(b) \quad (13)$$

Функцию ψ, отражающую отношения нестрогого предпочтения, принято называть функцией ценности или функцией полезности. Самое строгое определение функции ценности заключается в том, что её математическое ожидание представляет отношение нестрогого предпочтения в множестве вероятностных распределений (P), рассматриваемых на A. С точки зрения РР-системы «функция ценности» удобным техническим средством (инструментом) для описания предпочтений: субъекту управления приписывается числовая функция, которая, по сути, максимизируется его действиями.

Заключение

Функция ценности по своей природе относится к качественным критериям, поскольку она определяется с точностью до лю-

бого возрастающего преобразования. При этом для любого полного квазипорядка функция ценности всегда существует, если множество А является исчислимым, то есть конечным или счетным. В таком случае можно представить функцию ценности для РР-системы следующим образом: если на множестве А задана функция ценности ψ, отражающая отношения нестрогого предпочтения ***R***, то для любого ***B*** справедливо следующее утверждение:

$$\max_{P} B = \left\{ b \in B | \psi(b) = \max_{a \in B} \psi(a) \right\} \quad (14)$$

где ***B*** – подмножество ***A*** при $a^* \in A$, является наилучшим по ***R***

Причем априори все максимальные по ***P*** объекты из ***B*** являются наилучшими решениями с учетом установленного критериального функционала. Приведенные процедуры дифференциации отношений и понятийного аппарата функции ценности вводится для уточнения отношений внутри критериального функционала исследуемой РР-системы и нередко позволяет уточнить или приблизить, или поставить эффективность принимаемого решения в соответствие со сложной информационной ситуацией, сопровождающей деятельность сложных систем.

Список литературы

1. Перегудов, Ф. И., & Тарасенко, Ф. П. (1989). *Введение в системный анализ*. Москва: Высшая школа. 368 с. EDN: https://elibrary.ru/TFPWJJ
2. Таха, Х. А. (2005). *Введение в исследование операций*. Москва: ИД «Вильямс». 912 с.
3. Волкова, В. Н., & Емельянов, А. А. (2006). *Теория систем и системный анализ в управлении организациями*. Справочник. Учебное пособие. Москва: Финансы и статистика. 848 с.
4. Тарасенко, Ф. П. (2004). *Прикладной системный анализ (Наука и искусство решения проблем)*. Учебник. Томск: Издательство Томского университета. 186 с. EDN: https://elibrary.ru/TFPWDF

5. Закиева, Е. Ш. (2022). *Методология поддержки принятия решений при управлении социетальной системой на основе динамического моделирования и интеллектуальных технологий*. Диссертация доктора технических наук. Уфа. 310 с. EDN: https://elibrary.ru/AYPLKR
6. Поспелов, А. Б. (2011). *Методы многокритериальной целочисленной оптимизации*. USA: LAP Lambert Academic Publishing. 232 с.
7. Моисеева, Т. В. (2022). *Методологические основы поддержки принятия решений по управлению инновационным развитием социотехнических объектов на основе интерсубъективного подхода*. Диссертация доктора технических наук. Самара. 359 с. EDN: https://elibrary.ru/HSBHXL
8. Саати, Т. Л. (2008). *Принятие решений при зависимостях и обратных связях: аналитические сети*. Пер. с англ., науч. ред. А. В. Андрейчиков, О. Н. Андрейчикова. Москва: Издательство ЛКИ. 360 с.
9. Рындин, Н. А. (2022). Компонентная оптимизация развивающейся цифровой среды управления в организационных системах. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*, *10*(2), 1–9. https://doi.org/10.26102/2310-6018/2022.37.2.013 EDN: https://elibrary.ru/CLNOET
10. Терентьев, А. В., Ефименко, Д. Б., & Карелина, М. Ю. (2017). Методы районирования, как методы оптимизации автотранспортных процессов. *Вестник гражданских инженеров*, *(6)*, 291–294. https://doi.org/10.23968/1999-5571-2017-14-6-291-294 EDN: https://elibrary.ru/YPNFZF
11. Terentyev, A., Evtiukov, S., & Karelina, M. (2017). A method for multi-criteria evaluation of the complex safety characteristic of a road vehicle. *Transportation Research Procedia*, *36*, 149–156. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.12.057 EDN: https://elibrary.ru/DGMMDN
12. Moiseev, V. V., Terentiev, A. V., Stroev, V. V., & Karelina, M. Yu. (2018). Enhancement of economic efficiency of transport performance using multi-criteria estimation. *Advances in Economics, Business*

and Management Research, *61*, 167–171. EDN: https://elibrary.ru/WHRSRR

13. Terentiev, A. V., Yevtukov, S. S., & Karelina, E. A. (2020). Development of zoning method for solving economic problems of optimal resource allocation to objects of various importance in context of incomplete information. *Advances in Economics, Business and Management Research*, *128*, 765–772. https://doi.org/10.2991/aebmr.k.200312.108 EDN: https://elibrary.ru/LJQRIK
14. Terentyev, A. V., Karelina, M. Yu., Cherepnina, T. Yu., Linnik, D. A., & Demin, V. A. (2020). Digital object-oriented control models in automobile-road complex systems. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, *832*(1), 012058. https://doi.org/10.1088/1757-899X/832/1/012058 EDN: https://elibrary.ru/LTGFWV

References

1. Peregudov, F. I., & Tarasenko, F. P. (1989). *Introduction to System Analysis*. Moscow: Vysshaya Shkola. 368 p. EDN: https://elibrary.ru/TFPWJJ
2. Tahaha, H. A. (2005). *Introduction to Operations Research*. Moscow: ID «Villyams». 912 p.
3. Volkova, V. N., & Emel'yanov, A. A. (2006). *Systems Theory and System Analysis in Organizational Management*. Handbook. Tutorial. Moscow: Finansy i Statistika. 848 p.
4. Tarasenko, F. P. (2004). *Applied System Analysis (Science and Art of Problem Solving)*. Textbook. Tomsk: Tomsk University Press. 186 p. EDN: https://elibrary.ru/TFPWDF
5. Zakieva, E. Sh. (2022). Methodology for Supporting Decision Making in the Management of Societal Systems Based on Dynamic Simulation and Intelligent Technologies. Unpublished doctoral dissertation. Ufa. 310 p. EDN: https://elibrary.ru/AYPLKR
6. Pospelov, A. B. (2011). *Methods of Multi-Criteria Integer Optimization*. USA: LAP Lambert Academic Publishing. 232 p.
7. Moiseeva, T. V. (2022). Methodological Foundations of Decision Support for Managing Innovative Development of Sociotechnical Objects

Based on Intersubjective Approach. Unpublished doctoral dissertation. Samara. 359 p. EDN: https://elibrary.ru/HSBHXL

8. Saaty, T. L. (2008). *Decision Making with Dependencies and Feedback: Analytic Network Process* (Translated by A. V. Andreichikov, O. N. Andreichikova). Moscow: LKI Publishing House. 360 p.
9. Ryndin, N. A. (2022). Component Optimization of an Emerging Digital Management Environment in Organizational Systems. *Simulation, Optimization and Information Technology*, *10*(2), 1–9. https://doi.org/10.26102/2310-6018/2022.37.2.013 EDN: https://elibrary.ru/CLNOET
10. Terent'ev, A. V., Evimenko, D. B., & Karelina, M. Yu. (2017). Methods of Zoning as Methods of Optimization of Transport Processes. *Bulletin of Civil Engineers*, *(6)*, 291–294. https://doi.org/10.23968/1999-5571-2017-14-6-291-294 EDN: https://elibrary.ru/YPNFZF
11. Terentyev, A., Evtiukov, S., & Karelina, M. (2017). A method for multi-criteria evaluation of the complex safety characteristic of a road vehicle. *Transportation Research Procedia*, *36*, 149–156. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2018.12.057 EDN: https://elibrary.ru/DGMMDN
12. Moiseev, V. V., Terentiev, A. V., Stroev, V. V., & Karelina, M. Yu. (2018). Enhancement of economic efficiency of transport performance using multi-criteria estimation. *Advances in Economics, Business and Management Research*, *61*, 167–171. EDN: https://elibrary.ru/WHRSRR
13. Terentiev, A. V., Yevtukov, S. S., & Karelina, E. A. (2020). Development of zoning method for solving economic problems of optimal resource allocation to objects of various importance in context of incomplete information. *Advances in Economics, Business and Management Research*, *128*, 765–772. https://doi.org/10.2991/aebmr.k.200312.108 EDN: https://elibrary.ru/LJQRIK
14. Terentyev, A. V., Karelina, M. Yu., Cherepnina, T. Yu., Linnik, D. A., & Demin, V. A. (2020). Digital object-oriented control models in automobile-road complex systems. *IOP Conference Series: Materials Sci-*

ence and Engineering, *832*(1), 012058. https://doi.org/10.1088/1757-899X/832/1/012058 EDN: https://elibrary.ru/LTGFWV

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Халтурин Роман Александрович, кандидат экономических наук
Государственный университет управления (ГУУ)
Рязанский пр-т, 99, г. Москва, Российская Федерация
ra_khalturin@guu.ru

Судоргин Роман Олегович, кандидат экономических наук
Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ); Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ)
Ленинградский проспект, 64, г. Москва, 125319, Российская Федерация; ул. Политехническая, 29Б, г. Санкт-Петербург, 195251, Российская Федерация
ro_sudorgin@guu.ru

Акиньшин Никита Сергеевич, аспирант
Государственный университет управления (ГУУ)
Рязанский пр-т, 99, г. Москва, Российская Федерация
Nikita14Akin@yandex.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Roman A. Khalturin, Candidate of Economic Sciences
State University of Management (SUM)
99, Ryazansky Prospekt, Moscow, Russian Federation
ra_khalturin@guu.ru

Roman O. Sudorgin, Candidate of Economic Sciences
Moscow Automobile and Road State Technical University (MADI); Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (SPbPU)

64, Leningradsky Prospekt, Moscow, 125319, Russian Federation; 29B, Politekhnicheskaya Str., St. Petersburg, 195251, Russian Federation
ro_sudorgin@guu.ru

Nikita S. Akinshin, Postgraduate Student
State University of Management (SUM)
99, Ryazansky Prospekt, Moscow, Russian Federation
Nikita14Akin@yandex.ru
ORCID: https://orcid.org/0009-0009-4229-7918

Поступила 03.03.2025
После рецензирования 18.03.2025
Принята 23.03.2025

Received 03.03.2025
Revised 18.03.2025
Accepted 23.03.2025