

УДК 004.94

DOI: [10.26102/2310-6018/2026.56.5.005](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2026.56.5.005)

Формализация механизмов трансформации параметров и минимизация совокупных издержек трансфера в разнородных средах

Д.В. Тихоненко, А.В. Козлова✉, Е.С. Алмазова, В.Ю. Панченко

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, Красноярск, Российская Федерация

Резюме. В современной науке процессы передачи материальных, информационных и правовых объектов зачастую рассматриваются изолированно, что препятствует выявлению универсальных закономерностей их функционирования и затрудняет оценку совокупных издержек трансфера в разнородных системах. Целью данной работы является разработка единого математического аппарата для описания и оптимизации процессов перехода сущностей различной природы между агентами. Исследование базируется на методах системного анализа и математического моделирования, в рамках которых была проведена классификация структурных подобий (изоморфизмов) в логистических, правовых и информационных процессах. Для формализации воздействий внешней среды использован метод группировки факторов по девяти базовым механизмам трансформации параметров: времени, стоимости, надежности и структурной сложности. В результате работы создана универсальная модель, позволяющая количественно оценивать сопротивление среды через аппарат бинарных флагов чувствительности. Разработан двухэтапный алгоритм оптимизации, реализующий предварительную фильтрацию траекторий по расчетному порогу надежности и последующий поиск минимума целевой функции совокупных издержек. Практическая значимость результатов заключается в возможности обнаружения скрытых потерь ресурсов и временных лагов, которые не фиксируются традиционными узкоспециализированными методами анализа. Предложенный подход позволяет проектировать устойчивые системы трансфера, обеспечивая баланс между скоростью передачи сущности и безопасностью процесса в условиях динамически меняющейся среды.

Ключевые слова: трансфер сущностей, совокупные издержки, механизмы трансформации параметров, разнородные среды, изоморфизм систем, управление надежностью, оптимизация процессов, математическая формализация.

Для цитирования: Тихоненко Д.В., Козлова А.В., Алмазова Е.С., Панченко В.Ю. Формализация механизмов трансформации параметров и минимизация совокупных издержек трансфера в разнородных средах. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии.* 2026;14(5). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/article?id=2245> DOI: 10.26102/2310-6018/2026.56.5.005

Formalization of parameter transformation mechanisms and minimization of aggregate transfer costs in heterogeneous environments

D.V. Tikhonenko, A.V. Kozlova✉, E.S. Almazova, V.Yu. Panchenko

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, the Russian Federation

Abstract. In modern science, the processes of transferring material, information, and legal objects are often considered in isolation, which prevents the identification of universal patterns of their functioning and complicates the assessment of aggregate transfer costs in heterogeneous systems. The aim of this work is to develop a unified mathematical apparatus for describing and optimizing the processes of

transition of entities of various natures between agents. The research is based on the methods of systems analysis and mathematical modeling, within which a classification of structural similarities (isomorphisms) in logistical, legal, and information processes was carried out. To formalize environmental influences, a method of grouping factors into nine basic parameter transformation mechanisms was used: time, cost, reliability, and structural complexity. As a result of the work, a universal model was created that allows for the quantitative assessment of environmental resistance through the apparatus of binary sensitivity flags. A two-stage optimization algorithm has been developed, implementing preliminary filtering of trajectories by a calculated reliability threshold and a subsequent search for the minimum of the aggregate cost objective function. The practical significance of the results lies in the possibility of detecting hidden resource losses and time lags that are not captured by traditional highly specialized analysis methods. The proposed approach allows for the design of resilient transfer systems, ensuring a balance between the speed of entity transmission and process safety in a dynamically changing environment.

Keywords: entity transfer, aggregate costs, parameter transformation mechanisms, heterogeneous environments, system isomorphism, reliability management, process optimization, mathematical formalization.

For citation: Tikhonenko D.V., Kozlova A.V., Almazova E.S., Panchenko V.Yu. Formalization of parameter transformation mechanisms and minimization of aggregate transfer costs in heterogeneous environments. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2026;14(5). (In Russ.). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/article?id=2245> DOI: 10.26102/2310-6018/2026.56.5.005

Введение

В современных социально-экономических системах процессы передачи ресурсов, данных и прав собственности традиционно изучаются изолированно в рамках логистики, юриспруденции и информационных технологий. Однако усложнение глобальных цепочек поставок и цифровизация активов выявляют глубокие структурные подобию (изоморфизмы) между физическим перемещением грузов, трансляцией цифровых кодов и переходом правовых полномочий. При этом отдельный учет временных, финансовых и институциональных издержек на практике приводит к недооценке совокупных потерь и ограничивает возможности комплексной оптимизации процессов трансфера.

Необходимость учета совокупных издержек (времени, стоимости и рисков) в разнородных средах делает разработку универсальных инструментов анализа критически важной задачей управления сложными системами. Отсутствие единого формализованного аппарата не позволяет оценить влияние изменений в одной подсистеме (например, регуляторной или информационной) на общую эффективность и надежность процесса передачи.

Теоретический фундамент исследования опирается на междисциплинарный синтез общей теории систем и современных концепций управления потоками. В последние годы в научной литературе наметился переход от узкоспециализированного анализа логистических или информационных цепей к поиску изоморфных закономерностей в их функционировании.

Современная научная парадигма рассматривает процессы трансфера различных по своей природе объектов как сложные динамические системы, требующие унифицированного математического и методологического описания. В основе системного моделирования лежит понимание того, что эффективность передачи любого актива – от материального ресурса до социального капитала – определяется характеристиками среды, надежностью каналов связи и величиной сопутствующих издержек.

Для описания таких процессов в логистических системах Kabashkin I. и Sansyzybayeva Z. [1] предлагают использовать аппарат сетей Петри, позволяющий

выявлять узкие места транспортной инфраструктуры. Математическая формализация потоков в транспортных сетях реализуется через дифференциальные уравнения на графах, обеспечивающие учет пространственно-временных зависимостей [2].

При переходе к информационным системам ключевое значение приобретают вопросы целостности и надежности передачи. В работах Goudey В. и соавторов [3] показано, что взаимосвязанность элементов в сетевых структурах позволяет эффективно обнаруживать и корректировать ошибки распространения данных. Hussain А. и др. [4] подчеркивают роль синхронизации и устойчивости передачи в сенсорных сетях, где влияние среды напрямую отражается на надежности каналов связи. Использование методов машинного обучения для повышения устойчивости передачи рассматривается в [5].

Трансфер правовых и институциональных сущностей в современных условиях все чаще осуществляется с использованием цифровых платформ. Mitrea D. А. и соавторы [6] демонстрируют возможности блокчейн-технологий для повышения прозрачности и снижения транзакционных издержек. Теоретические аспекты транзакционных издержек и их влияния на устойчивость контрактных отношений рассматриваются в [7, 8].

В области социальных систем процессы передачи описываются через модели распространения информации и поведения в сетях. Исследования Fang F. и др. [9] показывают, что структура связей и сила взаимодействий определяют скорость и устойчивость распространения. Динамические модели сетей [10, 11] учитывают эволюцию связей и позволяют описывать нелинейные эффекты трансфера в сложных системах [12].

Несмотря на значительное количество исследований, существующие подходы остаются фрагментированными: логистические, информационные и институциональные издержки рассматриваются отдельно, что не позволяет получить целостную оценку совокупного сопротивления среды. В результате лицо, принимающее решения, не имеет инструмента для количественного анализа компромисса между скоростью, стоимостью и надежностью передачи.

Таким образом, возникает необходимость разработки универсального формализованного аппарата, позволяющего интегрировать разнородные факторы и обеспечивать их совместную оптимизацию в рамках единой модели трансфера.

Целью работы является разработка и формализация универсальной модели трансфера сущностей, позволяющей оптимизировать совокупные издержки и управлять рисками в системах различной природы.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- выполнить категоризацию объектов трансфера и определить роли ключевых акторов процесса;
- выявить и систематизировать универсальные факторы и механизмы их воздействия на параметры трансфера;
- разработать математический аппарат для расчета времени, стоимости и надежности процесса;
- обосновать критерий устойчивости системы на основе ограничения минимально допустимой надежности;
- предложить алгоритм оптимизации совокупных издержек.

Материалы и методы

Методологическая основа исследования базируется на принципах системного анализа, структурного изоморфизма и математического моделирования динамических процессов [13]. В качестве исходной гипотезы принимается положение о том, что

процессы передачи материальных, информационных, правовых и социальных сущностей обладают общей структурной логикой и могут быть описаны единым формальным аппаратом вне зависимости от их физической природы [14, 15].

Исследование проводилось в несколько взаимосвязанных этапов.

На первом этапе была выполнена морфологическая декомпозиция системы трансфера. Любой процесс передачи рассматривался как взаимодействие четырех функциональных ролей: инициатора (поставщика), реципиента (получателя), исполнителя (активного элемента, обеспечивающего перемещение или преобразование) и узла (точки фиксации, верификации или изменения статуса). Принципиально разделялись динамические элементы (исполнители), формирующие временные и технические параметры перехода, и статические элементы (узлы), генерирующие институциональные и регуляторные задержки [16]. Такая декомпозиция позволила отделить издержки движения от издержек подтверждения и регистрации [17, 18].

Для устранения неоднозначности интерпретации ролей введем формализованное представление участников процесса. Обозначим множество агентов трансфера как:

$$A = a_s, a_r, a_e, a_n, \quad (1)$$

где a_s – инициатор, a_r – реципиент, a_e – исполнитель, a_n – узел.

Тогда отдельная операция трансфера может быть представлена в виде направленного взаимодействия:

$$\tau = (a_s \rightarrow a_r \mid a_e, a_n), \quad (2)$$

что отражает передачу сущности от источника к получателю при участии активных элементов и прохождении через структурные точки системы.

На втором этапе была проведена унификация параметров процесса. Каждая операция трансфера формализована через вектор базовых характеристик: время выполнения T , стоимость C , надежность R и структурная сложность S , определяемая числом операций или переходов в цепочке. Данные параметры образуют универсальное пространство состояния процесса, применимое к различным типам сущностей. Совокупные издержки трансфера рассматриваются как интегральная функция указанных параметров с учетом их взаимного влияния [19].

Далее выполнена классификация воздействий среды. Все события разделены на эндогенные (внутрисистемные сбои, ошибки операторов, технические ограничения) и экзогенные (регуляторные изменения, природные факторы, рыночные флуктуации). Для формализации их влияния введен аппарат бинарных флагов чувствительности, позволяющий избирательно учитывать воздействие конкретного фактора на соответствующий параметр процесса. Это обеспечивает модульность модели и возможность ее адаптации к различным предметным областям [20, 21].

Многообразие факторов было сведено к девяти универсальным механизмам трансформации параметров: изменение пропускной способности, вероятность ошибки, модификация структуры процесса, деградация качества объекта, ресурсные ограничения, изменение фонового состояния среды, готовность поставщика, разрыв (прерывание) и ускорение. Каждый механизм описывается собственной математической логикой преобразования базовых параметров – мультипликативной, аддитивной или экспоненциальной. Тем самым обеспечивается переход от качественного описания воздействия к количественной корректировке вектора состояния процесса [22].

В рамках модели вводится понятие устойчивости процесса трансфера. Под устойчивостью понимается способность системы обеспечивать завершение операции передачи при воздействии факторов среды с допустимым уровнем риска. Формально устойчивость задается через ограничение на минимально допустимую надежность:

$$R \geq R_{\min}, \quad (3)$$

где R_{\min} определяется исходя из соотношения допустимого риска и потенциального ущерба от сбоя [23]. Таким образом, устойчивость интерпретируется как область допустимых состояний системы, а не как самостоятельный оптимизируемый параметр.

Оптимизация реализована как двухэтапная процедура. На первом этапе производится фильтрация допустимых конфигураций по критерию минимально приемлемой надежности. Конфигурации, не удовлетворяющие условию $R \geq R_{\min}$, исключаются из дальнейшего анализа. Такой подход позволяет интерпретировать надежность не как элемент целевой функции, а как жесткое ограничение устойчивости системы [24].

На втором этапе среди допустимых траекторий осуществляется минимизация целевой функции совокупных издержек, включающей взвешенную комбинацию стоимости и времени выполнения операции [25]. Весовые коэффициенты отражают приоритеты управленческого решения и задаются в зависимости от контекста применения модели. Поиск минимума может быть реализован с использованием методов дискретной оптимизации на графах либо эволюционных алгоритмов при высокой структурной сложности системы [26].

Верификация предложенного аппарата осуществлялась путем логико-структурного сопоставления модели с процессами различной природы (логистическими, информационными и институциональными), что позволило подтвердить сохранение формальной инвариантности параметров при смене предметной области. Таким образом, примененный метод обеспечивает переход от разрозненного дисциплинарного анализа к универсальной модели оценки и оптимизации совокупных издержек трансфера в разнородных средах.

Результаты и обсуждение

Полученные результаты направлены на устранение фрагментарности существующих подходов к анализу процессов передачи и обеспечивают интеграцию параметров трансфера в рамках единой модели. В рамках предложенной формализации каждая операция трансфера t , определенная на множестве агентов A , описывается вектором базовых характеристик:

$$\langle T, C, R, S \rangle, \quad (4)$$

где T – время выполнения операции, C – совокупная стоимость, R – надежность, S – структурная сложность (число операций или переходов в цепочке).

Одним из ключевых результатов является редукция множества разнородных воздействий среды к девяти базовым механизмам трансформации параметров [27, 28]. Это позволило перейти от описательного анализа факторов к формализованной системе корректировок параметров процесса. Механизмы воздействия представлены в Таблице 1.

Таблица 1 – Сводная таблица механизмов воздействия
 Table 1 – Summary table of impact mechanisms

Механизм воздействия	Математическая логика трансформации параметров	Характер влияния на систему
Пропускная способность	Мультипликатор K для t_i и c_i	Зависимость от мощности канала или узла
Вероятность ошибки	Экспоненциальное снижение r_i	Накопление помех, шумов или мутаций

Таблица 1 (продолжение)
Table 1 (continued)

Структура процесса	Изменение счетчика операций $n \pm \Delta n$	Появление новых барьеров или посредников
Качество объекта	Коэффициент деградации сущности	Снижение ценности объекта при передаче
Доступность ресурсов	Введение лага ожидания τ	Дефицит энергии, топлива или кадров
Состояние среды	Сдвиг фоновых параметров	Влияние внешних условий без смены структуры
Готовность поставщика	Задержка на этапе инициации	Неготовность объекта к началу трансфера
Разрыв (прерывание)	Обнуление скорости, критический рост c_i	Полная остановка или необходимость отката
Ускорение	Оптимизация t_i и n	Технологический прогресс и автоматизация

Данная классификация обеспечивает инвариантность модели: физическое сопротивление, институциональные барьеры и информационный шум описываются как различные реализации одних и тех же механизмов трансформации [29].

Ключевым результатом является формализация критерия устойчивости процесса трансфера. В соответствии с предложенным подходом отбор допустимых траекторий осуществляется по условию:

$$R \geq R_{\min}, \quad (5)$$

где R_{\min} определяется исходя из допустимого уровня риска и потенциального ущерба от сбоя.

Такое представление особенно значимо для систем, функционирующих в условиях высокой неопределенности, где влияние факторов среды может приводить к существенной деградации параметров процесса. В рамках предложенной модели устойчивость определяется не постфактум, а на этапе формирования допустимого множества решений.

После фильтрации по критерию устойчивости осуществляется минимизация совокупных издержек трансфера:

$$F = \sum_{i=1}^n (w_c \cdot c_i + w_t \cdot t_i) \rightarrow \min, \quad (6)$$

где w_c и w_t – весовые коэффициенты приоритетности стоимости и времени соответственно.

Таким образом, модель реализует двухэтапный алгоритм:

1. Исключение недопустимых по надежности конфигураций.
2. Поиск минимума функции F среди допустимых траекторий.

В отличие от традиционных моделей кратчайшего пути, получаемое решение интерпретируется как наиболее устойчивая траектория в заданной среде, а не просто как наименее затратная.

Полученные результаты подтверждают гипотезу о структурном изоморфизме процессов передачи различной природы. В рамках предложенного аппарата:

- физическое сопротивление транспортной среды,
- накопление ошибок в информационных сетях,
- бюрократические задержки при смене правового статуса

формализуются как частные случаи трансформации параметров T , C , R и S .

Интегральное рассмотрение совокупных издержек позволяет выявлять скрытые потери, которые в дисциплинарных моделях учитываются отдельно. Например, передача цифрового объекта может иметь минимальную прямую стоимость, но за счет снижения надежности или увеличения структурной сложности становится неэффективной в рамках заданного порога риска.

Выделение надежности как первичного фильтра переводит оптимизацию из плоскости поиска «дешёвого» решения в плоскость проектирования устойчивых систем. Это особенно актуально для динамически изменяющихся сред, где внешние воздействия могут каскадно трансформировать параметры процесса.

Таким образом, разработанная модель обеспечивает:

- формальную инвариантность описания трансфера в разнородных средах;
- количественную оценку сопротивления среды;
- выявление скрытых временных и институциональных лагов;
- возможность проектирования устойчивых траекторий передачи сущностей.

Полученные результаты подтверждают применимость предложенного аппарата как универсального инструмента анализа и оптимизации процессов трансфера вне зависимости от природы передаваемой сущности.

Заключение

В рамках проведенного исследования разработана универсальная математическая модель трансфера сущностей, позволяющая формализовать и оптимизировать процессы передачи материальных, информационных, правовых и иных объектов в разнородных средах. Предложенный подход основан на представлении операций трансфера в виде единого параметрического пространства, включающего время, стоимость, надежность и структурную сложность, что обеспечивает сопоставимость процессов различной природы.

Основные результаты исследования заключаются в следующем.

Доказана возможность единой формализации процессов трансфера вне зависимости от физической природы передаваемой сущности, что подтверждает гипотезу о структурном изоморфизме логистических, информационных и институциональных систем.

Установлено, что многообразие внешних и внутренних воздействий может быть сведено к ограниченному набору базовых механизмов трансформации параметров, обеспечивающих переход от качественного описания факторов к их количественной интерпретации в рамках модели.

Введено и обосновано представление устойчивости как свойства системы сохранять допустимые параметры функционирования при воздействии факторов среды, формализуемого через ограничение на минимально допустимую надежность. Это позволило рассматривать надежность не как элемент целевой функции, а как жесткое условие допустимости конфигураций трансфера.

Разработан двухэтапный алгоритм оптимизации, включающий предварительную фильтрацию траекторий по критерию минимально допустимой надежности и последующую минимизацию совокупных издержек. Такой подход обеспечивает исключение экономически эффективных, но системно неустойчивых решений.

Показано, что традиционный отдельный анализ логистических, информационных и институциональных издержек приводит к недооценке совокупных потерь, тогда как предложенная модель позволяет выявлять скрытые временные и ресурсные лаги, а также учитывать комплексное влияние факторов среды.

Практическая значимость работы заключается в возможности применения разработанного аппарата для проектирования и анализа устойчивых систем трансфера, ориентированных на минимизацию совокупных издержек при соблюдении заданного уровня надежности в условиях динамически изменяющейся среды.

Таким образом, предложенная модель формирует основу для перехода от разрозненного дисциплинарного анализа к интегрированному подходу к управлению процессами трансфера, что открывает перспективы ее дальнейшего развития и применения в различных предметных областях.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Kabashkin I., Sansyzbayeva Z. Methodological Framework for Sustainable Transport Corridor Modeling Using Petri Nets. *Sustainability*. 2024;16(2). <https://doi.org/10.3390/su16020489>
2. Zhou J., Qin X., Ding Y., Ma H. Spatial-Temporal Dynamic Graph Differential Equation Network for Traffic Flow Forecasting. *Mathematics*. 2023;11(13). <https://doi.org/10.3390/math11132867>
3. Goudey B., Geard N., Verspoor K., Zobel J. Propagation, detection and correction of errors using the sequence database network. *Briefings in Bioinformatics*. 2022;23(6). <https://doi.org/10.1093/bib/bbac416>
4. Hussain A., Hussain T., Attar R.W., et al. Energy-efficient synchronization for body sensor network in the metaverse: an optimized connectivity approach. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*. 2025;2025(1). <https://doi.org/10.1186/s13638-025-02433-4>
5. Li B., Kong L., Zhang X., et al. Deep Learning-Based Secure Transmission Strategy with Sensor-Transmission-Computing Linkage for Power Internet of Things. *Computers, Materials & Continua*. 2024;78(3):3267–3282. <https://doi.org/10.32604/cmc.2024.047193>
6. Mitrea D.A., Marian C.V., Manolescu R.A. Digital Transformation: Design and Implementation of a Blockchain Platform for Decentralized and Transparent Property Asset Transfer Using NFTs. *World*. 2025;6(4). <https://doi.org/10.3390/world6040166>
7. Hodgson G.M. Transactions and legal institutionalism: part I – six leading thinkers. *Journal of Institutional Economics*. 2025;21. <https://doi.org/10.1017/S1744137425000049>
8. Xue Y., Liu H., Chai Zh., Wang Z. The Decision-Making and Moderator Effects of Transaction Costs, Service Satisfaction, and the Stability of Agricultural Productive Service Contracts: Evidence from Farmers in Northeast China. *Sustainability*. 2024;16(11). <https://doi.org/10.3390/su16114371>
9. Fang F., Ma J., Ma Y.-J., Boccaletti S. Social contagion on higher-order networks: The effect of relationship strengths. *Chaos, Solitons & Fractals*. 2024;186. <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2024.115149>
10. Ali M. Dynamic graph models for evolving social networks. *Journal of Mathematical Problems, Equations and Statistics*. 2024;5(1):93–99. <https://doi.org/10.22271/math.2024.v5.i1a.249>
11. Zhang M., Liu L., Wang Y. Research on the dynamic spread of information in social networks based on relationship strength theory and feedback mechanism. *Frontiers in Physics*. 2024;12. <https://doi.org/10.3389/fphy.2024.1327161>
12. Dong Y., Huo L., Perc M., Boccaletti S. Adaptive rumor propagation and activity contagion in higher-order networks. *Communications Physics*. 2025;8(1). <https://doi.org/10.1038/s42005-025-02181-3>

13. Журавлев М.В., Ашмарина Т.И., Вахрушева И.А., Музалев К.С. Моделирование тепловых потоков в подземных горных выработках с применением параллельного программирования. *Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле*. 2025;(3):292–297.
Zhuravlev M.V., Ashmarina T.I., Vakhrusheva I.A., Muzalev K.S. Modeling of heat flows in underground mine workings using parallel programming. *News of the Tula State University. Sciences of Earth*. 2025;(3):292–297. (In Russ.).
14. Kukartsev V.V., Tynchenko V.S., Chzhan E.A., et al. Solving the problem of trucking optimization by automating the management process. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019;1333(7). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1333/7/072027>
15. Matania O., Klein R., Bortman J. Transfer Across Different Machines by Transfer Function Estimation. *Frontiers in Artificial Intelligence*. 2022;5. <https://doi.org/10.3389/frai.2022.811073>
16. Yan Zh., Sun J., Zhang Y., et al. Federated Transfer Learning Strategy: A Novel Cross-Device Fault Diagnosis Method Based on Repaired Data. *Sensors*. 2023;23(16). <https://doi.org/10.3390/s23167302>
17. Wang W., Li Zh., Li W. Graph embedding-based heterogeneous domain adaptation with domain-invariant feature learning and distributional order preserving. *Neural Networks*. 2024;170:427–440. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2023.11.048>
18. Mu Z., Li D., Zhao J., Jiang H., Shao Q. TransNet: A transfer-augmented domain adaptation model for cross-domain water quality index prediction in data-scarce scenarios. *Knowledge-Based Systems*. 2025;328. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2025.114220>
19. Boyko A.A., Kukartsev V.V., Ereemeev D.V., et al. The dynamic simulation model of calculating equipment purchase with the bond loan. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019;1399(3). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1399/3/033120>
20. Si H., Li W., Wang Q., et al. A secure cross-domain interaction scheme for blockchain-based intelligent transportation systems. *PeerJ Computer Science*. 2023;9. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.1678>
21. Jia L., Zhang Q., Liu Sh., Kong B., Liu Y. Multi-Station Agricultural Machinery Scheduling Based on Spatiotemporal Clustering and Learnable Multi-Objective Evolutionary Algorithm. *AgriEngineering*. 2025;7(6). <https://doi.org/10.3390/agriengineering7060197>
22. Sun Y., Tian Zh. Solving few-shot problem in wind speed prediction: A novel transfer strategy based on decomposition and learning ensemble. *Applied Energy*. 2025;377(5). <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2024.124717>
23. Cui T., Shi Y., Wang J., et al. Practice of an improved many-objective route optimization algorithm in a multimodal transportation case under uncertain demand. *Complex & Intelligent Systems*. 2025;11(2). <https://doi.org/10.1007/s40747-024-01725-4>
24. Bukhtoyarov V.V., Tynchenko V.S., Petrovsky E.A., Dokshanin S.G., Kukartsev V.V. Research of methods for design of regression models of oil and gas refinery technological units. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019;537(4). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/537/4/042078>
25. Xu Zh., Zheng Ch., Zheng Sh., Ma G., Chen Zh. Multimodal Transportation Route Optimization of Emergency Supplies Under Uncertain Conditions. *Sustainability*. 2024;16(24). <https://doi.org/10.3390/su162410905>
26. Lemus-Romani J., Crawford B., Cisternas-Caneo F., Soto R., Becerra-Rozas M. Binarization of Metaheuristics: Is the Transfer Function Really Important? *Biomimetics*. 2023;8(5). <https://doi.org/10.3390/biomimetics8050400>

27. Liu Y., Ma C., Huang Y. An Internet of Things-Based Production Scheduling for Distributed Two-Stage Assembly Manufacturing with Mold Sharing. *Machines*. 2024;12(5). <https://doi.org/10.3390/machines12050310>
28. Lingyun G., Niffenegger M., Jing Zh. A novel procedure to evaluate the performance of failure assessment models. *Reliability Engineering & System Safety*. 2022;226(3). <https://doi.org/10.1016/j.ress.2022.108667>
29. Shang Y., Nogal M., Teixeira R., Wolfert A.R.M. Extreme-oriented sensitivity analysis using sparse polynomial chaos expansion. Application to train-track-bridge systems. *Reliability Engineering & System Safety*. 2023;243(1). <https://doi.org/10.1016/j.ress.2023.109818>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Тихоненко Дмитрий Васильевич, кандидат технических наук, доцент, Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, Красноярск, Российская Федерация.
e-mail: tikhonenko_d@mail.ru

Dmitry V. Tikhonenko, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, the Russian Federation.

Козлова Анастасия Васильевна, студентка, Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, Красноярск, Российская Федерация.
e-mail: ankoz9@yandex.ru

Anastasia V. Kozlova, Student, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, the Russian Federation.

Алмазова Екатерина Сергеевна, студентка, Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, Красноярск, Российская Федерация.
e-mail: voln92@gmail.com

Ekaterina S. Almazova, Student, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, the Russian Federation.

Панченко Вероника Юрьевна, студентка, Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, Красноярск, Российская Федерация.
e-mail: moptimo@mail.ru

Veronika Yu. Panchenko, student, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, the Russian Federation.

Статья поступила в редакцию 05.03.2026; одобрена после рецензирования 10.05.2026; принята к публикации 15.05.2026.

The article was submitted 05.03.2026; approved after reviewing 10.05.2026; accepted for publication 15.05.2026.