

19. Ivanov P.Yu., Khamnaeva A.A., Khudonogov A.M. Snizhenie energopotrebleniya elektrovoza pri upravlenii pnevmaticheskimi tormozami gruzovogo poezda [Reduction of power consumption of an electric locomotive when controlling pneumatic brakes of a freight train]. *Razrabotka i ekspluatatsiya elektrotekhnicheskikh kompleksov i sistem energetiki i nazemnogo transporta: Materialy tret'ei mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Development and operation of electrical complexes and systems of power engineering and ground transport: Materials of the third international scientific and practical conference], 2018. Pp. 143–151.

### Информация об авторах

**Иванов Павел Юрьевич** – канд. техн. наук, доцент кафедры электроподвижного состава, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: savl.ivanov@mail.ru

**Дульский Евгений Юрьевич** – канд. техн. наук, доцент кафедры электроподвижного состава, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: e.dulskiy@mail.ru

**Хамнаева Алена Александровна** – аспирант Иркутского государственного университета путей сообщения, кафедра электроподвижного состава, e-mail: alenalend95@mail.ru

**Корсун Антон Александрович** – аспирант Иркутского государственного университета путей сообщения, кафедра электроподвижного состава, e-mail: korsunanton1998@gmail.com

### Information about the authors

**Pavel Yu. Ivanov** – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Subdepartment of the Electric Rolling Stock, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: savl.ivanov@mail.ru

**Evgenii Yu. Dul'skii** – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Subdepartment of the Electric Rolling Stock, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: e.dulskiy@mail.ru

**Alena A. Khamnaeva** – Ph.D. student of Irkutsk State Transport University, the Subdepartment of the Electric Rolling Stock, e-mail: alenalend95@mail.ru

**Anton A. Korsun** – Ph.D. student of Irkutsk State Transport University, the Subdepartment of the Electric Rolling Stock, e-mail: korsunanton1998@gmail.com

DOI 10.26731/1813-9108.2020.4(68).158-165

УДК 656.025, 656.01

## Исследование процессов взаимодействия элементов транспортно-технологической системы региона

Ю. О. Полтавская<sup>1</sup>✉, А. П. Хоменко<sup>2</sup>, О. Д. Толстых<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ангарский государственный технический университет, г. Ангарск, Российская Федерация

<sup>2</sup>Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

✉ juliapoltavskaya@mail.ru

### Резюме

Функционирование экономической и непродовольственных отраслей любого региона невозможно без транспортно-технологической системы. Она представляет собой взаимосвязь различных видов транспорта при осуществлении технологических процессов. Эти отношения включают местоположение пунктов отправления / прибытия, пространственно выражающее спрос, потоки между ними и инфраструктуру. Все компоненты транспортно-технологической системы подчинены одной цели – удовлетворение потребности в передвижении пассажиров, грузов и информации на основе комплексного взаимодействия с окружающей средой. В результате анализа исследований взаимодействия отдельных элементов системы было выявлено, что не существует единой модели для всех типов взаимодействия. Представлена схема классификации транспортно-технологической системы, которая состоит из материальных (физических) объектов (участники движения и грузовые потоки), самого транспортного процесса и регулирования деятельности. На основе систематизации свойств и факторов, влияющих на результаты и параметры транспортного процесса, описана модель уровней взаимодействия элементов системы, которая может быть применена для всех видов транспорта. С целью оценки важности уровней взаимодействия параметров транспортного процесса был рекомендован метод двойного сравнения, который позволяет сравнивать взаимодействия элементов не одновременно, а попарно и при этом учитывать важность взаимодействия одного элемента по сравнению с другим. В результате можно сделать вывод, что классификация материальных элементов транспортно-технологической системы может быть использована для описания любого взаимодействия, а предложенный метод двойного сравнения позволяет заменить качественные показатели, задаваемые экспертами, на количественные. Это значительно сокращает трудоемкость расчетов и делает возможным использование полученного решения для планирования транспортного процесса.

### Ключевые слова

транспортно-технологическая система, взаимодействие элементов системы, виды транспорта, транспортный процесс, метод двойного сравнения

### Для цитирования

Полтавская Ю. О. Моделирование процессов взаимодействия элементов транспортно-технологической системы региона / Ю. О. Полтавская, А. П. Хоменко, О. Д. Толстых // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2020. – № 4 (68). – С. 158–165. – DOI: 10.26731/1813-9108.2020.4(68).158-165

**Информация о статье**

поступила в редакцию: 02.10.2020, поступила после рецензирования: 31.10.2020, принята к публикации: 02.11.2020

**Theoretical studies of features of train friction braking process modeling**

Yu. O. Poltavskaya<sup>1</sup>✉, A. P. Khomenko<sup>2</sup>, O. D. Tolstykh<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Angarsk State Technical University, Angarsk, the Russian Federation

<sup>2</sup>Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

✉ korsunanton1998@gmail.com

**Abstract**

The functioning of the economic and non-production sectors of any region is impossible without a transportation and technological system. It represents the relationships of various types of transport during the implementation of technological processes. These relationships include the location of departure / arrival points that express demand spatially, flows between them, and infrastructure. All components of the transportation and technological system are subordinated to one goal – to satisfy the necessity of movement of passengers, goods and information based on complex interaction with the environment. After analyzing the studies of the interaction of individual elements of the system, it was revealed that there is no single model for all types of interaction. The article presents a classification scheme for the transportation and technological system that consists of material (physical) objects (traffic participants and freight flows), the transport process itself and the regulation of activities. Based on the systematization of the properties and factors affecting the results and parameters of the transport process, a model of the interaction levels of the system elements is described, which can be applied to all types of transport. In order to assess the importance of interaction levels for the parameters of the transport process, a double comparison method was recommended. It allows comparing the interactions of elements not simultaneously but in pairs, at the same time taking into account the importance of the interaction of one element in comparison with another. As a result, we can conclude that the classification of material elements of the transportation and technological system can be used to describe any interaction, and the proposed double comparison method makes it possible to replace the qualitative indicators set by experts with quantitative ones. This significantly reduces the complexity of calculations, and it becomes possible to use the resulting solution for planning the transport process.

**Keywords**

transportation and technological system, interaction of system elements, types of transport, transport process, double comparison method

**For citation**

Poltavskaya Yu. O., Khomenko A. P., Tolstykh O. D. Modelirovanie protsessov vzaimodeistviya elementov transportno-tekhnologicheskoi sistemy regiona [The research of interaction processes of the regional transportation and technological system elements]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemy analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2020, No. 4 (68), pp. 158–165. – DOI: 10.26731/1813-9108.2020.4(68).158-165

**Article Info**

Received: 02.10.2020, Revised: 31.10.2020, Accepted: 02.11.2020

**Введение**

Свобода передвижения является одной из величайших ценностей человечества, которая реализуется при наличии развитой транспортно-технологической системы (ТТС). Транспортный сектор был и остается одной из важнейших движущих сил экономики любой страны, региона, города [1–5]. Отмечается, что транспорт продолжит оказывать положительное влияние на экономический рост, однако это приводит к увеличению заторов, загрязнению окружающей среды, а также снижает безопасность передвижений. Пассажиры и грузовые перевозки – это динамичный процесс, поскольку его параметры меняются с течением времени. Параметры процесса перевозки являются стохастическими, однако их изменения вызваны конкретными условиями, влияние которых можно моделировать и прогнозировать. Для этого необходимы данные, которые могут быть получены путем наблюде-

ний, измерений или моделирования процессов взаимодействия участников и элементов ТТС, что, в свою очередь, позволит выяснить причины дорожно-транспортных происшествий и снизить риск их возникновения в будущем.

В процессе транспортировки взаимодействуют отдельные элементы системы. Результаты взаимодействия и их последствия могут быть как положительными, так и отрицательными, поскольку всегда побочные эффекты возникают в процессе транспортировки. Взаимодействие элементов отдельных видов транспорта было рассмотрено в работах авторов [6–9]. Стоит отметить, что автомобильный транспорт изучен наиболее полно, поскольку его функционирование представлено во всех ТТС. К основным проблемам, создаваемым в процессе передвижения в ТТС, относят недостаточную безопасность, а также физическое и химическое загрязнение окружающей среды. В целях повышения безопасности движения

на дорогах проводятся мероприятия по реконструкции и модернизации участков улично-дорожной сети, усовершенствованию мер контроля, учета и управления движением, повышению дисциплинированности участников дорожного движения. Результаты макроэкономического моделирования показали, что затраты, вложенные в транспортную инфраструктуру региона, окупаются в двойном размере примерно за четыре года [10–13].

Для исследования взаимодействия видов транспорта было предложено несколько моделей. Основными элементами транспортной системы являются объекты инфраструктуры и подвижной состав. В работах [12–14] предложен метод расчета затрат на предварительное проектирование системы региона, основанный на параметрическом моделировании. Важность критериев качества параметрической модели была оценена с помощью метода двойного сравнения для повышения качества перевозки пассажиров [15–17].

Целью данного исследования является построение модели элементов ТТС и описание уровней их взаимодействия, а также установление возможности применения метода двойного сравнения для оценки

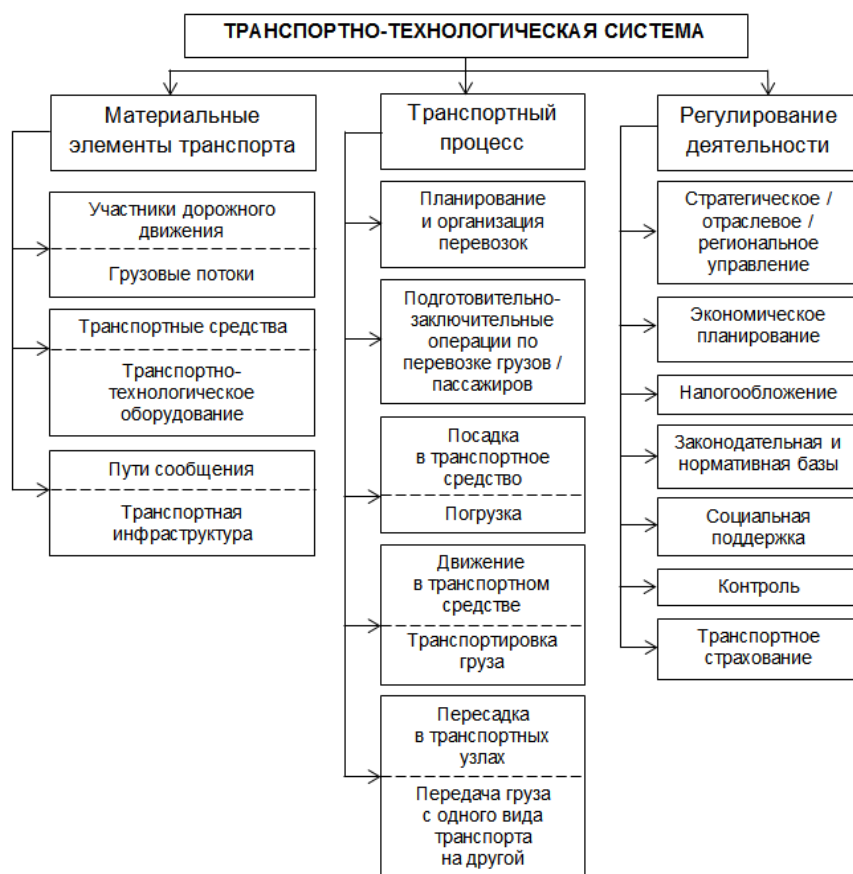
важности уровней взаимодействия параметров транспортного процесса.

### Элементы транспортно-технологической системы и их классификация

Транспорт является составной частью инфраструктуры региона, которая должна удовлетворять потребности населения и экономики в грузовых и пассажирских перевозках. Транспортными услугами пользуются все без исключения отрасли экономики и непродуцированной деятельности. Транспортная система включает в себя все виды функционирующего транспорта в рассматриваемом регионе. В свою очередь каждый вид транспорта состоит из трех основных элементов: материальные элементы транспорта, транспортный процесс (ТП) и регулирование деятельности (рис. 1).

Соответствующие свойства и качественные характеристики гарантируют правильное функционирование всей ТТС региона.

Классификация транспорта, как и других объектов, секторов экономики и услуг носит условный характер, так как зависит от выбранных принципов и критериев. В настоящее время отсутствует единая



**Рис. 1.** Структура транспортно-технологической системы  
**Fig. 1.** Structure of the transportation and technological system  
 Criteria for the classification of transport types

и строгая система классификации транспорта. В разных законах, кодексах и нормативно-правовых актах она варьируется и изменяется. Ниже приведены основные критерии классификации видов транспорта, которые встречаются в современной литературе (табл.) [5, 12, 18–21].

Представленная классификация включает в себя основные критерии и может быть применена для региона с любым административным делением.

Отражено также взаимодействие материальных составляющих (элементов) структуры ТТС (рис. 2).



Рис. 2. Модель материальных составляющих транспортно-технологической системы

Fig. 2. Model of the material components of the transport and technological system

В случае отсутствия одного из элементов ТТС функционирование системы является нерациональным и зачастую невозможным. В исключительных случаях рассматривается работа подвижного состава (транспортных средств) без грузов или пассажиров (с холостыми и нулевыми пробегами), однако такая деятельность неэффективна, поскольку не создает валовой добавленной стоимости (ВДС).

### Взаимодействие элементов транспортно-технологической системы

ТТС исследуется как совокупность взаимосвязанных целостных элементов внешней среды, деятельность которых предназначена для перевозки грузов и пассажиров. Миссия ТТС – гарантировать устойчивую мобильность населения и перевозки грузов, поддерживая динамичное развитие экономики региона и повышая его конкурентоспособность. Функционирование транспорта основывается на трех физических компонентах (участники движения, транспортные средства и инфраструктура). Выделяют следующие уровни взаимодействия элементов ТТС, факторов внешней среды, экономики и непроизводственной деятельности:

1. На этом уровне взаимодействуют между собой грузовые потоки, участники движения, транспортные средства, а также транспортная инфраструктура.

2. Состоит из физического взаимодействия материальных элементов. Участники движения и грузовые потоки взаимодействуют с транспортными средствами, а они, в свою очередь, с транспортной инфра-

### Критерии классификации видов транспорта Criteria for the classification of modes of transport

Признак классификации	Виды транспорта
1. Тип используемого пути для движения	Автомобильный, железнодорожный, воздушный, морской, внутренний водный, трубопроводный, канатный, технологический, горный
2. Тип транспортного средства	Автомобиль (легковой, грузовой), поезд, трамвай, троллейбус, подвесная кабина, воздушное судно, флот
3. Тип энергии, приводящей в движение транспортное средство	Тепловой, электрический, ветровой, солнечный, ядерный, биотранспорт, гравитационный
4. Тип шасси автомобиля	Колесная, гусеничная, рельсовая, шагающая, на воздушной подушке
5. Геоцентрическое положение	Надземный, подземный, надводный, подводный, воздушный, космический
6. Тип управления	Механический, гидравлический, пневматический, электрический, ручной, дистанционный, автоматический, программный
7. Тип выполняемой работы	Грузовой, пассажирский, технологический
8. Цель использования	Универсальный (общественный), коммерческий, индивидуальный, специализированный, производственный, спортивный
9. Соответствие траектории движения транспортного средства трассе	Чрезвычайно строгая траектория (трубопроводный, железнодорожный, строгая траектория (автомобильный), плавучая траектория (воздушный, внутренний водный, морской)
10. Расстояние перевозки	Межконтинентальный, государственный, внутренний, междугородный, пригородный, городской, технологический, межоперационный
11. Скорость движения	Высокая маршрутная скорость, экспресс, средняя маршрутная скорость, низкая маршрутная скорость
12. Сохранность свойств перевозимого груза	Сохранение грузовых свойств, незначительное изменение грузовых свойств, изменение грузовых свойств

структурой. Транспорт функционирует во внешней среде, которая включает в себя элементы физической среды (здания, энергообъекты, растительный и животный мир, вода, земля, люди).

3. Взаимодействие физической среды с элементами ТТС относится к третьему уровню. На взаимодействие транспорта с внешней средой влияют следующие параметры: состояние и свойства дорожного покрытия, температура, шум и вибрации, трение, адгезия, сцепление, время, скорость и ускорение, освещение, гравитация. В данной связи рассматривается экологическая составляющая транспорта.

4. Состоит из взаимодействия различных видов транспорта в организационной, конкурентной и экономической областями. Транспортные услуги дополняют такие отрасли, как горнодобывающая промышленность, энергетика, сельское и лесное хозяйство, строительство, промышленность, торговля, коммунальное хозяйство, туризм и спорт. Без транспорта немислимо и существование непроеизводственных отраслей: образование и культура, здравоохранение, социальное обеспечение.

5. Взаимодействие транспорта с отдельными секторами экономики и непроеизводственной деятельности относится к пятому уровню. Наиболее важным результатом такого уровня взаимодействия является его влияние на экономику региона, выражаемое валовой стоимостью. Роль транспорта в создании валовой стоимости имеет первостепенное значение. В отрасли «Транспортировка и хранение» России работает около 9 % занятых в стране. За последние годы они произвели 6,9–7,0 % ВДС. Доходы от транспортировки и хранения возросли с 5 368,3 млрд руб. в 2016 г. до 5 820,9 млрд руб. в 2017 г. [10].

Физическое взаимодействие материальных элементов ТТС можно классифицировать в различных аспектах. Исходя из анализа исследовательских работ [6–8, 12, 13] можно выделить следующие особенности и формы выражения:

1. По расстоянию взаимодействие может быть контактным (прямым) – при непосредственном взаимодействии между элементами без какого-либо элемента ТТС или окружающей среды, либо бесконтактным (косвенным), когда один элемент не касается другого, а воздействует на другой удаленный элемент через промежуточный фактор окружающей среды.

2. В зависимости от полезности результата взаимодействия оно может быть положительным, когда позволяет получить ожидаемый результат или приближается к заданному показателю, либо отрицательным, когда результат нежелателен или опасен.

3. По изменению параметров с течением времени взаимодействие может быть статическим, когда воздействие одного элемента ТТС на другой не изменяется с течением времени, либо динамическим, когда параметры взаимодействия элементов ТТС (величина

сил, направления движения, скорость и ускорение) изменяются с течением времени.

4. По целенаправленности взаимодействия (количеству и происхождению целей) оно может быть односторонним, когда какой-либо элемент воздействует на другой, не затрагивая первый, либо двусторонним, когда взаимодействующие элементы ТТС одинаково или по-разному влияют друг на друга.

5. По длительности взаимодействие может быть постоянным (непрерывным), оно протекает длительное время без перерывов в течение всего транспортного цикла, либо эпизодическим (случайные, прерывистые), когда элементы ТТС взаимодействуют на короткий промежуток времени в течение определенного заранее заданного или непредвиденного времени и при определенных обстоятельствах.

6. По воздействию на ТП взаимодействие может быть пассивным, когда не изменяются параметры транспортного процесса (и взаимодействующих элементов), либо активным, когда при взаимодействии параметры меняют друг друга.

7. По управляемости взаимодействие может быть неконтролируемым, когда начало взаимодействия элементов ТТС, его длительность и время завершения, а также другие параметры не могут быть изменены любыми доступными средствами, либо контролируемым, когда участник движения (водитель, пешеход, пассажир) может с помощью определенных действий или оборудования автоматически или программно изменять параметры взаимодействующих в ТП элементов.

8. По экологичности взаимодействие может быть экологическим, когда последствия взаимодействия для окружающей среды и участников дорожного движения не причиняют никакого вреда или незначительны и не превышают допустимые нормы, либо неэкологичным, когда взаимодействие наносит значительный ущерб окружающей среде и участникам движения.

Предложенная классификация материальных элементов ТТС может быть использована для описания любого взаимодействия транспортных элементов. Однако данное взаимодействие не всегда выражается численно, поэтому отмечается сложность процесса сравнения взаимодействия, если рассматриваемые параметры не выражены количественно.

#### **Оценка взаимодействия элементов транспортной системы методом двойного сравнения**

Процессы моделирования взаимодействия элементов транспортной системы и расчет основных параметров рассматриваются в исследованиях [12–14]. На основе уровней взаимодействия элементов ТТС и их комбинаций с помощью методов ранжирования определяется важность определенного вза-

имодействия. Комплексная оценка и рейтинг объектов взаимодействий зависят от фактических значений показателей. Определение значимости показателей относится к субъективным методам, так как оценка производится с учетом мнения специалистов (экспертов), обладающих необходимыми квалификационными навыками.

Взаимодействие элементов ТТС на рассмотренных уровнях влияет на безопасность движения, а параметры изменяются с течением времени и имеют стохастический характер. Для выявления их влияния на безопасность движения могут применяться статистические данные или методы экспертных исследований, в том числе метод двойного сравнения. Применение метода двойного сравнения позволяет повысить совместимость оценок и определить значимость (важность) показателей с точки зрения более высокого уровня или иерархически неструктурированной значимости показателей. Суть метода заключается в матрице двойного сравнения.

Значимость влияния взаимодействия элементов на количество ДТП определяется по заключению эксперта, что позволяет рассчитать непротиворечивость сравнительной матрицы. На основе опыта, компетенций и знаний эксперт сравнивает все оцениваемые показатели (взаимодействия элементов ТТС)  $R_i$  и  $R_j$  ( $i, j = 1, 2, \dots, n$ ), где  $n$  – количество сравниваемых показателей (взаимодействий). Кроме того, принимается во внимание значимость критериев по отношению друг к другу по пятибалльной шкале.

Метод удобен тем, что сравнение взаимодействия элементов осуществляется попарно. Он позволяет заменить качественные показатели, задаваемые экспертами, на количественные. Предположим, что необходимо сравнить важность или влияния взаимодействий  $S_1, \dots, S_n$  на параметры процесса транспортировки. Рассмотрим ситуацию, предполагая, что важность сравниваемых взаимодействий абсолютно одинакова, отметим эту значимость значениями  $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$ . Соотношение,

$$a_{ij} = \frac{\omega_i}{\omega_j}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n,$$

показывает, во сколько раз  $i$  взаимодействие элементов  $S_i$  важнее  $j$  взаимодействия  $S_j$ .

$$A = \begin{bmatrix} \omega_1/\omega_1 & \omega_1/\omega_2 & \dots & \omega_1/\omega_n \\ \omega_2/\omega_1 & \omega_2/\omega_2 & \dots & \omega_2/\omega_n \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \omega_n/\omega_1 & \omega_n/\omega_2 & \dots & \omega_n/\omega_n \end{bmatrix},$$

где  $\omega_i / \omega_j$  – относительная важность фактора  $i$  по сравнению с фактором  $j$ ;  $n$  – количество факторов в наборе.

Относительную важность  $n$  факторов можно получить, решив следующее уравнение:

$$A \omega = \lambda_{\max} \omega,$$

где  $\omega = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n)^T$  – вектор относительных весов;  $\lambda_{\max}$  – наибольшее собственное значение матрицы  $A$ . Если нет несогласованности суждения,  $\lambda_{\max}$  принимается равным  $n$  – размер матрицы.

Метод двойного сравнения оценивает согласованность оценок каждого эксперта. Индекс согласованности  $CI$  определяется как отношение:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}.$$

Чем меньше индекс согласованности  $CI$ , тем выше согласованность матрицы. В идеальном случае  $CI = 0$ .

Обратные симметричные матрицы второго порядка всегда согласованы. Связь между рассчитанным индексом согласованности определенной матрицы и средним случайным индексом  $RI$  называется коэффициентом согласованности  $CR$ . Он определяет степень согласованности матрицы:

$$CR = \frac{CI}{RI}.$$

Значение коэффициента согласованности  $CR$ , которое меньше или равно 0,1, является приемлемым, и означает, что матрица согласована.

## Заключение

Функционирование ТТС связано с различными взаимодействиями ее элементов. Ряд исследований посвящен взаимодействию отдельных материальных элементов различных видов транспорта, анализ которых показал, что общей модели для всех взаимодействий не существует.

Классификация элементов транспортной системы по заданным критериям позволяет точнее раскрыть ее структуру и упрощает процесс анализа. Представленная характеристика уровней взаимодействия раскрывает взаимосвязь материальных элементов ТТС между собой, с внешней средой, а также с экономикой региона и непроизводственными секторами деятельности. Систематизированы свойства выражения взаимодействия, раскрывающие его качественные аспекты и различия. Отдельные уровни взаимодействия элементов по-разному влияют на параметры транспортного процесса. Для оценки важности различных взаимодействий параметров рекомендуется использовать метод двойного сравнения, что позволит установить приоритет различных форм взаимодействия.

## Список литературы

1. Лебедева О.А., Крипак М.Н. Развитие городских грузовых систем с учетом концепции городского планирования // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. 2016. Т. 1, № 1. С. 244–247.

2. Крипак М.Н., Колесник А.И. Проблемы и перспективы развития транспортной инфраструктуры в современных городах // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. 2014. Т. 1, № 1. С. 194–198.
3. Лебедева О.А. Транспортная инфраструктура как основополагающий фактор эффективного функционирования экономики страны / О.А. Лебедева, Ю.О. Полтавская, З.Н. Гаммаева, Т.В. Кондратенко // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. 2018. Т. 1, № 15. С. 125–130.
4. Антонов Д.В., Лебедева О.А. Основные принципы развития транспортных систем городов // Вестник Ангарской государственной технической академии. 2014, № 8. С. 149–155.
5. Дагдлиян В.А. Транспортная система и транспортная инфраструктура как главное звено производственной системы // Наука и современность. 2016, № 49. С. 65–69.
6. Копылова Т.А. Виды взаимодействия городского общественного пассажирского и личного транспорта // Теория современного города: прошлое, настоящее, будущее: материалы Всероссийской научной конференции с Международным участием. 2016. С. 143–145.
7. Куанышева Т.С., Увалиева А.Б. Принципы взаимодействия видов транспорта в условиях рыночных отношений // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. 2008, № 3. С. 50–51.
8. Шепелев В.Д., Пряхин Д.С., Галигузов А.А. Взаимодействие различных видов транспорта в крупных транспортных узлах // Знание. 2016, № 9-2 (38). С. 5–10.
9. Poltavskaya Yu.O., Lebedeva O.A., Gozbenko V.E. Automation of the solution to the problem of optimizing traffic in a multimodal logistics system // *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2021, 1258 AISC. Pp. 255–261.
10. Транспорт в России. 2018: Стат.сб./Росстат. 2018. 101 с.
11. Гозбенко В.Е. Методы прогнозирования и оптимизации транспортной сети с учетом мощности пассажира и грузопотоков / В.Е. Гозбенко, А.Н. Иванков, М.Н. Колесник, А.С. Пашкова // депонированная рукопись № 330-В2008 17.04.2008.
12. Sivilevičius H. Modelling the interaction of transport system elements // *Transport*, 2011, 26(1). Pp. 20–34.
13. Sonmez R., Ontepeli B. Predesign cost estimation of urban railway projects with parametric modelling // *Journal of Civil Engineering and Management*, 2009. No. 15(4). Pp. 405–409.
14. Sivilevičius H., Maskeliūnaitė L. The criteria for identifying the quality of passengers' transportation by railway and their ranking using ANP // *Transport*, 2010. No. 25(4). Pp. 368–381.
15. Матвеева М.А., Ковалева Т.С., Шаров М.И. Повышение качества функционирования интермодальных узлов пригородного железнодорожного пассажирского транспорта Иркутской агломерации // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2014, № 6 (11). С. 115–122.
16. Полтавская Ю.О. Методика оценки качества обслуживания пассажиров в сфере общественного транспорта // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. 2019. Т. 1, № 16. С. 184–187.
17. Михайлов А.Ю., Шаров М.И. К вопросу развития современной системы критериев оценки качества функционирования общественного пассажирского транспорта // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия: Наземные транспортные системы. 2014. Т. 9, № 19 (146). С. 64–66.
18. Копылова Т.А., Михайлов А.Ю. Анализ компактности интермодальных узлов городского пассажирского транспорта при определении градостроительного потенциала территории транспортно-пересадочных узлов // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2017. Т. 21, № 4 (123). С. 166–175.
19. Крипак М.Н., Гозбенко В.Е., Колесник А.И. Оптимизация структуры транспорта как мера повышения эффективности функционирования системы городского пассажирского транспорта // Сборник научных трудов Ангарского государственного технического университета. 2013. Т. 1, № 1. С. 229–232.
20. Kopylova T., Mikhailov A., Shesterov E. A level-of-service concept regarding intermodal hubs of urban public passenger transport // *Transportation Research Procedia*. 2018. С. 303–307.
21. Гозбенко В.Е., Крипак М.Н., Иванков А.Н. Совершенствование транспортно-экспедиционного обслуживания грузовладельцев. Иркутск, 2011.

### References

1. Lebedeva O.A., Kripak M.N. Razvitiye gorodskikh gruzovykh sistem s uchetom kontseptsii gorodskogo planirovaniya [Development of urban freight systems with regard to the concept of urban planning] *Sbornik nauchnykh trudov Angarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Proceedings of Angarsk State Technical University], 2016. Vol. 1. No. 1. Pp. 244–247.
2. Kripak M.N., Kolesnik A.I. Problemy i perspektivy razvitiya transportnoi infrastruktury v sovremennykh gorodakh [Problems and prospects for the development of transport infrastructure in modern cities] *Sbornik nauchnykh trudov Angarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Proceedings of Angarsk State Technical University], 2014. Vol. 1. No. 1. Pp. 194–198.
3. Lebedeva O.A., Poltavskaya Yu.O., Gammaeva Z.N., Kondratenko T.V. Transportnaya infrastruktura kak osnovopolagayushchii faktor effektivnogo funktsionirovaniya ekonomiki strany [Transport infrastructure as the fundamental factor of effective functioning of the economy of the country] *Sbornik nauchnykh trudov Angarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Proceedings of Angarsk State Technical University], 2018. Vol. 1. No. 15. Pp. 125–130.
4. Antonov D.V., Lebedeva O.A. Osnovnye printsipy razvitiya transportnykh sistem gorodov [Basic principles of urban transport systems development]. *Vestnik Angarskoi gosudarstvennoi tekhnicheskoi akademii* [Bulletin of Angara State Technical Academy], 2014. No. 8. Pp. 149–155.

5. Dagldiyana V.A. Transportnaya sistema i transportnaya infrastruktura kak glavnoe zveno proizvodstvennoy sistemy [Transport system and transport infrastructure as the main link of the production system] *Nauka i sovremennost'* [Science and Modernity], 2016. No. 49. Pp. 65–69.

6. Kopylova T.A. Vidy vzaimodeystviya gorodskogo obshchestvennogo passazhirskogo i lichnogo transporta [Types of interaction between public passenger and personal transport] V sbornike: Teoriya sovremennogo goroda: proshloe, nastoyashchee, budushchee. Materialy Vserossiyskoi nauchnoi konferentsii s Mezhdunarodnym uchastiem [In the collection: Theory of the modern city: past, present, future. Materials of the All-Russian scientific conference with international participation], 2016. Pp. 143–145.

7. Kuanysheva T.S., Uvalieva A.B. Printsipy vzaimodeystviya vidov transporta v usloviyakh rynochnykh otnoshenii [Principles of interaction of modes of transport in conditions of market relations] *Transport: nauka, tekhnika, upravleniye. Nauchnyi informatsionnyi sbornik* [Transport: science, technology, management. Scientific information collection], 2008. No. 3. Pp. 50–51.

8. Shepelev V.D., Pryakhin D.S., Galiguzov A.A. Vzaimodeystviye razlichnykh vidov transporta v krupnykh transportnykh uzlyakh [Interaction of different types of transport in large transport hubs] *Znanie* [Knowledge], 2016. No. 9-2 (38). Pp. 5–10.

9. Poltavskaya Yu.O., Lebedeva O.A., Gozbenko V.E. Automation of the solution to the problem of optimizing traffic in a multimodal logistics system. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2021, 1258 AISC. Pp. 255–261.

10. *Transport in Russia*. 2018. (Moscow: Stat sb Rosstat), 2018. 101 p.

11. Gozbenko V.E., Ivankov A.N., Kolesnik M.N., Pashkova A.S. Metody prognozirovaniya i optimizatsii transportnoi seti s uchetoм mashchnosti passazhiro- i gruzopotokov [Methods of forecasting and optimizing the transport network taking into account the capacity of passenger and cargo flows]. Deposited manuscript No. 330-V2008 April 17, 2008.

12. Sivilevičius H. Modelling the interaction of transport system elements. *Transport*, 2011. No. 26(1). Pp. 20–34.

13. Sonmez R., Ontepeli B. Predesign cost estimation of urban railway projects with parametric modelling. *Journal of Civil Engineering and Management*, 2009. No. 15(4). Pp. 405–409.

14. Sivilevičius H., Maskeliūnaitė L. The criteria for identifying the quality of passengers' transportation by railway and their ranking using AHP. *Transport*, 2010. No. 25(4). Pp. 368–381.

15. Matveeva M.A., Kovaleva T.S., Sharov M.I. Povyshenie kachestva funkcionirovaniya intermodal'nykh uzlov prigorodnogo zheleznodorozhnogo passazhirskogo transporta Irkutskoi aglomeratsii [Increasing the quality of functioning of intermodal hubs of the countryside railroad passenger transport of the Irkutsk agglomeration]. *Izvestiya vuzov. Investitsii. Stroitel'stvo. Nedvizhimost'* [Proceedings of universities. Investments. Building. Property], 2014. No. 6 (11). Pp. 115–122.

16. Poltavskaya Yu.O. Metodika otsenki kachestva obsluzhivaniya passazhirov v sfere obshchestvennogo transporta [The methodology of assessing the quality of passenger service in the field of public transport]. *Sbornik nauchnykh trudov Angarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Proceedings of Angarsk State Technical University], 2019. Vol. 1. No. 16. Pp. 184–187.

17. Mikhailov A.Yu., Sharov M.I. K voprosu razvitiya sovremennoy sistemy kriteriyev otsenki kachestva funkcionirovaniya obshchestvennogo passazhirskogo transporta [On the question of development of a modern system of criteria for assessing the quality of public passenger transport functioning] *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Nazemnye transportnye sistemy* [Izvestia VSTU. Series: Above-ground transportation systems], 2014. Vol. 9. No. 19 (146). Pp. 64–66.

18. Kopylova T., Mikhailov A. Analiz kompaktnosti intermodal'nykh uzlov gorodskogo passazhirskogo transporta pri opredelenii gradostroitel'nogo potentsiala territorii transportno-peresadochnykh uzlov [Compactness analysis of urban passenger transport intermodal nodes when determining the area of the urban development potential] *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Proceedings of Irkutsk State Technical University], 2017. Vol. 21. No. 4 (123). Pp. 166–175.

19. Kripak M.N., Gozbenko V.E., Kolesnik A.I. Optimizatsiya struktury transporta kak mera povysheniya effektivnosti funkcionirovaniya sistemy gorodskogo passazhirskogo transporta [Transport structure optimization as a measure of efficiency of the urban passenger transport] *Sbornik nauchnykh trudov Angarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Proceedings of Angarsk State Technical University], 2013. Vol. 1. No. 1. Pp. 229–232.

20. Kopylova T., Mikhailov A., Shesterov E. A level-of-service concept regarding intermodal hubs of urban public passenger transport. *Transportation Research Procedia*, 2018. Pp. 303–307.

21. Gozbenko V.E., Kripak M.N., Ivankov A.N. The improvement of transport-forwarding service of cargo owners. *Irkutsk*, 2011.

#### Информация об авторах

**Полтавская Юлия Олеговна** – канд. техн. наук, доцент кафедры управления в автомобильном транспорте, Ангарский государственный технический университет, г. Ангарск, e-mail: juliapoltavskaya@mail.ru

**Хоменко Андрей Павлович** – д-р техн. наук, профессор, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: homenko\_ap@irgups.ru

**Толстых Ольга Дмитриевна** – канд. физ.-мат. наук, доцент, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск

#### Information about the authors

**Yulia O. Poltavskaya** – Ph.D. in Engineering Science, Assoc. Prof. of the Subdepartment of Management of Automobile Transport, Angarsk State Technical University, Angarsk, e-mail: juliapoltavskaya@mail.ru

**Andrei P. Khomenko** – Doctor of Engineering Science, Professor, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: homenko\_ap@irgups.ru

**O'lya D. Tolstykh** – Ph.D. in Physics and Mathematics, Assoc. Prof., Irkutsk State Transport University, Irkutsk