

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ ПЕРЕВОЗОК

Оригинальная научная статья

УДК 332.14

EDN: <https://elibrary.ru/mzjzym>

DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2025-84-4-302-313>

Научная специальность: 2.9.4. Управление процессами перевозок;

2.9.1. Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте



Методика определения потребности развития региональной транспортно-логистической инфраструктуры

О. В. Москвичев✉, Е. Е. Москвичева, Ю. С. Никонов

Приволжский государственный университет путей сообщения (ПривГУПС),
Самара, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение. Необходимость развития и совершенствования транспортно-логистической инфраструктуры железнодорожного, автомобильного, речного, морского, воздушного видов транспорта в сложившихся условиях макроэкономической трансформации и ограниченности инвестиционных ресурсов требует определения научно обоснованных предложений по модернизации действующих объектов региональной терминально-логистической инфраструктуры, а также реализации дополнительных мероприятий по развитию магистральной инфраструктуры примыкания. Разрабатываемые мероприятия должны учитывать прогнозные объемы транспортно-логистических услуг на основе анализа динамики объемов грузопотоков, их структуры и направлений корреспонденций и обеспечивать повышение уровня экономической связанности территории Российской Федерации. В настоящем исследовании авторы предлагают новые методологические подходы к определению потребности развития объектов региональной транспортно-логистической инфраструктуры с выявлением лимитирующих мест в обслуживании грузопотоков.

Материалы и методы. При выполнении работы использованы статистические и эконометрические методы анализа грузовой базы, балансовые методы исследования транспортно-экономических связей в стране, методы планирования, управления транспортными потоками, методы моделирования и оптимизации транспортно-логистической инфраструктуры, методы системного анализа транспортно-технологических систем.

Результаты. Разработан методологический подход к развитию действующей региональной транспортно-логистической инфраструктуры, включающий принципы оценки грузовой базы региона по основным номенклатурам грузов с использованием транспортно-экономического баланса, и экономико-математическую модель транспортно-логистического обслуживания грузопотоков, которая обеспечивает распределение выделенных номенклатур грузов и выявление «узких мест».

Обсуждение и заключение. Использование предлагаемых методических принципов и разработанной экономико-математической модели позволит получить полную и объективную информацию о достаточности развития региональной транспортно-логистической инфраструктуры, определить лимитирующие (дефицитные) или избыточные (резервные) перерабатывающие мощности грузовых фронтов по выделенным номенклатурным группам грузов, осуществить поэтапную разработку комплекса мероприятий по модернизации существующего транспортно-логистического комплекса региона и обоснованию технологических мощностей.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: региональная транспортно-логистическая инфраструктура, терминально-логистический объект, грузовая база, гармонизированная номенклатура грузов, транспортно-экономический баланс, методологический подход, методические принципы, экономико-математическая модель

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Москвичев О. В., Москвичева Е. Е., Никонов Ю. С. Методика определения потребности развития региональной транспортно-логистической инфраструктуры // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2025. Т. 84, № 4. С. 302–313. EDN: <https://elibrary.ru/mzjzym>.

TRANSPORTATION PROCESS MANAGEMENT

Original article

UDK 332.14

EDN: <https://elibrary.ru/mzjzym>DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2025-84-4-302-313>

Scientific specialty: 2.9.4. Transportation process management;

2.9.1. Transport and transportation technology systems of the country, its regions, and cities, and production organisation in transport



Assessment of the sufficiency of regional transport and logistics infrastructure development

Oleg V. Moskvichev✉, Elena E. Moskvicheva, Iurii S. Nikonov

Volga State Transport University (VSTU),
Samara, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The need to develop and improve the transport and logistics infrastructure of railway, automobile, river, sea, and air transport modes in the current conditions of macroeconomic transformation and limited investment resources requires the identification of evidence-based proposals for the modernisation of existing facilities of the regional terminal and logistics infrastructure, as well as the implementation of additional measures to develop the main infrastructure of the junction. The measures under development should consider the projected volumes of transport and logistics services based on analysis of the dynamics of freight flows, their structure and correspondence directions and ensure an increase in the level of economic connectivity of the Russian Federation. The purpose of this study is to develop a methodological approach to determining the need for the development of regional transport and logistics infrastructure facilities with the identification of limiting “bottlenecks” in the maintenance of relevant freight flows.

Materials and methods. The authors employed the following scientific and methodological approaches, including statistical and econometric methods for analysing the cargo base, balance methods for studying transport and economic relations in the country, methods of planning and traffic flow management, methods of modeling and optimising transport and logistics infrastructure, methods of system analysis of transport and technological systems.

Results. A methodological approach to the development of the existing regional transport and logistics infrastructure has been developed, including methodological principles for assessing the cargo base of the region according to the main cargo nomenclatures using the transport and economic balance, economic and mathematical model of transport and logistics services for freight flows, which ensures the distribution of selected cargo nomenclatures based on transport and economic links across the operated facilities of the transport and logistics infrastructure of the considered region, characterised by specified values of technological parameters, as well as the identification of limiting “bottlenecks” in the maintenance of relevant freight flows.

Discussion and conclusion. The use of the proposed methodological principles and developed economic and mathematical model would enable to obtain complete and objective information on the sufficiency of the development of the regional transport and logistics infrastructure, determine the limiting (scarce) or excess (reserve) processing capacities of cargo fronts according to the selected nomenclature cargo groups. This gives an opportunity to proceed to the development of a gradual range of measures to remodel the existing transport and logistics complex of the region and substantiate technological capacities.

KEYWORDS: regional transport and logistics infrastructure, terminal and logistics facility, cargo base, harmonised cargo nomenclature, transport and economic balance, methodological approach, methodological principles, economic and mathematical model

FOR CITATION: Moskvichev O.V., Moskvicheva E.E., Nikonov Iu.S. Assessment of the sufficiency of regional transport and logistics infrastructure development. *Russian Railway Science Journal*. 2025;84(4):302–313. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2025-84-4-302-313>.

Введение. С целью обеспечения устойчивого и динамичного функционирования экономики страны, Указом Президента Российской Федерации от 7 мая 2024 года № 309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года»¹ установлены целевые показатели и задачи, в том числе направленные на увеличение объемов грузовых перевозок по международным транспортным коридорам не менее чем в 1,5 раза по сравнению с уровнем 2021 года за счет повышения глобальной конкурентоспособности маршрутов, обеспечение прироста экспорта несырьевых неэнергетических товаров не менее чем на 2/3 по сравнению с показателем 2023 года, а также продукции агропромышленного комплекса не менее чем в 1,5 раза по сравнению с уровнем 2021 года.

Учитывая приоритетные направления развития российской экономики, а также необходимость эффективного преодоления введенной санкционной политики в отношении России, стратегическим шагом является развитие и совершенствование транспортно-логистической инфраструктуры, которая является неотъемлемой и ключевой частью транспортного комплекса, обеспечивая его высокопроизводительное функционирование. В свою очередь, транспортно-логистическая сфера является двигателем развития не только многих бизнес-проектов, предприятий, но и экономики в целом. Основной имущественной частью транспортно-логистической инфраструктуры являются терминально-логистические объекты различного уровня, как правило, взаимосвязанные между собой и объединенные в сложную иерархическую систему в рамках одного или нескольких видов транспорта. Эффективные эксплуатация и взаимодействие объектов этой системы позволят обеспечить устойчивость логистических цепочек поставок, реализовать дополнительные грузопотоки в рамках новых экономических связей и создать основу для решения общенациональных задач по пространственному развитию.

В настоящее время на правительственном и отраслевых уровнях, а также в текущих научных исследованиях развитие транспортно-логистической инфраструктуры рассматривается с позиций либо формирования опорной сети транспортно-логистических центров², гарантирующей инфраструктурную возможность организации грузовых мультимодальных перевозок, либо проектирования региональной терминально-складской инфраструктуры в аспекте решения оптимизационных задач по определению месторасположения новых

логистических объектов с использованием математического и имитационного моделирования, а также выбранных социально-экономических факторов. Однако, в сложившихся условиях макроэкономической трансформации, а также ограниченности инвестиционных ресурсов требуется разработка научно обоснованного подхода к определению потребности и этапности развития действующей (эксплуатируемой) региональной транспортно-логистической инфраструктуры, включая необходимость реализации дополнительных мероприятий по развитию магистральной инфраструктуры примыкания, учитывающего прогнозные объемы транспортно-логистических услуг на основе анализа динамики объемов грузопотоков, их структуры и направлений корреспонденций и обеспечивающего повышение уровня экономической связанности территории Российской Федерации.

Обзор литературы. Проблемы, связанные с разработкой стратегических решений по развитию транспортно-логистической инфраструктуры, характеризуются высокой сложностью из-за большой размерности и многовариантности решаемой задачи [1]. Проведенный анализ научной литературы позволил выделить две группы используемых по теме исследования моделей и методов: модели, определяющие транспортно-экономические связи, и модели планирования развития грузоперерабатывающей инфраструктуры.

Для исследования транспортно-экономических связей используют балансовые методы, определяющие соотношения между размерами производства и потребления продукции производственно-технического назначения, промышленных и продовольственных товаров, на основании которых, во взаимосвязи с макроэкономическими параметрами социально-экономического развития, устанавливается спрос на транспортные услуги, выражаемый в объемах перевозок грузов, товарной и географической структуре [2, 3].

Для принятия стратегических решений по развитию транспортной инфраструктуры, формирования и утверждения инвестиционных проектов применяется инструментальный межотраслевой баланса, теорию и методологию которого разработал российский экономист В. В. Леонтьев [4]. При этом, для обоснования адекватных прогнозов объемов грузоперевозок в методический аппарат межотраслевых балансов, как правило, интегрируются дополнительные информационные данные, касающиеся точек зарождения и погашения грузопотоков, а также точек роста производственной активности.

¹ О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года: указ Президента Российской Федерации от 7 мая 2024 г. № 309. URL: <http://kremlin.ru/acts/bank/50542> (дата обращения: 09.08.2025).

² Генеральная схема развития сети транспортно-логистических центров (ТЛЦ) (в рамках федерального проекта «Транспортно-логистические центры» транспортной части комплексного плана модернизации и расширения магистральной инфраструктуры на период до 2024 года). М., 2020. 49 с.

В зарубежной практике основным источником для составления транспортно-экономических балансов являются методы проведения системного анализа. В США каждые пять лет на государственном уровне проводится исследование транспортных потоков (Commodity Flow Survey — CFS)³, в ходе которого собираются данные от крупнейших грузообразующих предприятий. Данные включают в себя информацию о наименовании и объемах отгружаемых товаров, их стоимости, корреспонденциях перевозок и видах транспорта. Результаты CFS используются для анализа тенденций на рынке транспортно-логистических услуг, прогнозирования структуры, направлений и объемов грузовых перевозок, а также для принятия управленческих и инвестиционных решений в области транспортной инфраструктуры. В Европейском союзе подобный системный анализ грузовых перевозок проводится на основе данных, собранных Европейской информационной системой транспортной политики (ETIS)⁴. Для установления связей между вопросами транспортного планирования и соответствующих массивов статистической информации или смоделированных ETIS данных используется разработанная иерархическая структура критериев, подкритериев, показателей и переменных.

В свою очередь, анализ научных работ, базирующихся на моделях и методах планирования развития грузоперерабатывающей инфраструктуры, показывает, что эта задача часто сводится к математической задаче оптимального выбора мест размещения вновь создаваемых «центров» обслуживания при заданных объектах обслуживания [1]. При этом оптимальное решение размещения «центров» обслуживания потребителей зависит от выбранных критериев, принятых ограничений и основывается на применении различных подходов, среди которых можно отметить метод ветвей и границ, методы динамического программирования, методы целочисленного программирования, вероятностные методы, методы кластерного анализа, различные эвристические методы и т. п.

Один из базовых подходов к выбору месторасположения логистических объектов на ограниченной территории на основе социальных и экономических особенностей региона был предложен американским ученым Эдгаром Гувером⁵. Его концепция основывалась на изучении таких параметров, как распределение потребителей, объем и структура спроса, требуемый уровень логистического обслуживания и др. Основной целевой функцией являлась минимизация затрат на транспортировку продукции за счет максимальной близости размещения объектов логистичес-

кой инфраструктуры к зонам сосредоточения клиентских рынков.

В работах отечественных и зарубежных исследователей данный методологический подход за последние десятилетия получил достаточное развитие. В работе [5] выбор региона для размещения логистического центра основывается на расчетных принципах интегрированного показателя, учитывающего различия уровней социально-экономического и инфраструктурного развития регионов. В качестве основных методов авторы используют статистический анализ данных для оценки изменений потенциала региона размещения логистического объекта и имитационное моделирование. В работе [6] на основе пространственного анализа, объединяющего ГИС и SWOT-анализы, определяется месторасположение логистического центра в регионе. В [7] для рационального размещения региональной транспортно-логистической инфраструктуры посредством метода многокритериальной оптимизации предлагается создание опорной сети логистических объектов разного класса и назначения на основе выявления потенциала логистических ресурсов каждой административно-территориальной единицы региона.

Обзор современных научных исследований [8–10] также позволяет сделать вывод о развитии методологических подходов к формированию межрегиональных, федеральных многоуровневых логистических сетей, обеспечивающих получение оптимальных «центров обслуживания» с привязкой к магистральной сети транспорта.

В работах [11, 12] в качестве основной проблемы рассматривается оценка экономической выгоды от инвестиций в развитие транспортно-логистической инфраструктуры, направленной на минимизацию расходов, связанных с транспортировкой, хранением, обработкой и перегрузкой грузов. При этом особое значение придается детальному расчету экономических показателей и выработке стратегий, обеспечивающих максимальную рентабельность и устойчивость функционирования терминально-логистических комплексов.

Активно развивается научное и практическое направление [13–16] по повышению эксплуатационной надежности терминально-складских/логистических комплексов, разрабатываются методы, методики и модели для принятия решений по регулированию технико-технологических параметров с целью снижения издержек различного рода. Например, в работе [13] исследуются вопросы рационального функционирования грузового терминала при изменении объемов грузопотоков и характеристик технико-технологических

³ Commodity Flow Survey (CFS) // Bureau of Transportation Statistics. URL: <https://www.bts.gov/cfs> (дата обращения: 23.08.2025).

⁴ Core database development for the European Transport policy Information System (ETIS) // European Commission. URL: <https://cordis.europa.eu/project/id/10980> (дата обращения: 23.08.2025).

⁵ Hoover E. M. The Location of Economic Activity. New York; Toronto; London: McGraw-Hill Book Company Inc., 1948. 310 p.

параметров. Авторы применяют метод системного анализа, синтез информации и метод имитационного моделирования для оценки загруженности зон складирования.

Таким образом, проведенный обзор литературы по теме исследования дает основу к формированию прикладного научно обоснованного инструментария для системного определения потребности и этапности развития действующих объектов транспортно-логистической инфраструктуры на магистральной сети. Цель настоящего исследования — разработка методологического подхода к определению потребности развития объектов региональной транспортно-логистической инфраструктуры с выявлением лимитирующих мест в обслуживании грузопотоков.

Материалы и методы. При выполнении работы использованы следующие научно-методологические подходы, учитывающие специфику предмета и объекта исследования: статистические и эконометрические методы анализа грузовой базы, балансовые методы исследования транспортно-экономических связей в стране, методы планирования, управления транспортными потоками, методы моделирования и оптимизации транспортно-логистической инфраструктуры, методы системного анализа транспортно-технологических систем.

Результаты исследования. Решение проблемы развития и модернизации региональной транспортно-логистической инфраструктуры как единой системы терминально-логистических объектов и магистральной инфраструктуры примыкания должно основываться на анализе всех элементов грузовой и транспортной подсистем, участвующих в процессе перевозки грузов. Наличие и учет наиболее полной и объективной информации предопределяет достоверность и обоснованность принимаемых решений на различные временные периоды при оценке необходимости инвестиций в развитие транспортно-логистической инфраструктуры. Укрупненно всю необходимую совокупность данных можно разделить на две части:

1. *Грузовая база* — это совокупность данных об объемах и структуре существующих и прогнозных грузопотоков релевантных грузов и способах их формирования из потребностей экономики.

2. *Транспортно-логистическая инфраструктура региона (далее — ТЛИ)* — это комплекс материальных и интеллектуальных ресурсов региона, направленный на обеспечение возможностей перевозки грузов различных транспортно-технологических систем и обработки грузовой базы. Он включает технические, технологические и организационные решения для обслужи-

вания грузов и характеризуется параметрическими данными, измеряющими возможности этой инфраструктуры.

Для решения задач научного и практического анализа процессов грузоперевозок необходимо разработать модель грузовой базы, модель региональной ТЛИ и обобщенную модель транспортно-логистического обслуживания грузопотоков на объектах региональной ТЛИ. Последняя модель позволит прогнозировать ту или иную эффективность работы комплекса ТЛИ при тех или иных параметрах грузовой базы. Она позволит также ставить и решать задачи планирования обслуживания грузовой базы и задачи проектирования элементов ТЛИ для устранения «узких мест» обслуживания.

Создание обобщенной модели — сложная системная задача, опирающаяся на анализ больших массивов данных государственной и ведомственной статистики: ряды данных Росстата по объемам отгруженной продукции предприятиями различных секторов экономики, статистика экспорта и импорта, включая данные Федеральной таможенной службы России, экономическая статистика топливно-энергетического комплекса, а также транспортная статистика, включающая данные ОАО «РЖД», статистику морского и внутреннего водного транспорта, автомобильного транспорта, а также на современные методы обработки этих данных (например, машинное обучение, Big Data, байесовские методы и др.).

Тем не менее, уже на современном этапе можно разрабатывать отдельные части этой большой задачи.

Построение транспортно-экономического баланса как основа анализа грузовой базы региона. Безусловно, фундаментальной основой для формирования стратегий развития транспортного комплекса, планирования совершенствования и развития инфраструктуры магистральных видов транспорта в строгом соответствии со сферами их экономически целесообразного использования является мониторинг основных направлений пассажирских и грузовых потоков на основе транспортно-экономического баланса (далее — ТЭБ).

Согласно Транспортной стратегии⁶, работа по построению ТЭБ РФ поручена ФГБУ «НЦКТП Минтранса России». Специалистами организации был разработан методологический подход [2], в основе которого предусмотрено формирование фактической и прогнозной компоненты грузовой базы и транспортных потоков по всем видам транспорта и родам грузов. Фактическая компонента описывает ретроспективную статистику грузовой базы и транспортных

⁶ Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года: распоряжение Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. № 3363-р. 285 с.

корреспонденций между регионами за предшествующий период наблюдений. Прогнозная компонента содержит прогноз этих же составляющих на будущие периоды. Учитывая горизонт планирования, установленный в стратегических документах транспортной отрасли, рассматриваемый прогнозный период охватывает интервал от 2020 до 2036 года.

При разработке ТЭБ строится многомерная матрица корреспонденций грузоперевозок между регионами Российской Федерации, распределение грузопотоков по родам грузов гармонизированной номенклатуры грузов, распределение по видам транспорта и видам перевозок с учетом принятых балансовых уравнений [2].

Использование некоторых методических подходов ФГБУ «НЦКТП Министерства транспорта РФ» к формированию регионального транспортно-экономического баланса позволит получить детализированные характеристики выпусков производств и конечного спроса в регионе, объемов перевозок грузов, необходимые в качестве исходной информации для решения поставленной задачи проводимого исследования.

Методические принципы оценки грузовой базы региона. Учитывая анализ взаимного географического расположения центров формирования грузопотоков, в рамках рассматриваемых территориальных ограничений процедура оценки грузовой базы региона, основанной в том числе на выделении наиболее перспективных сегментов рынка транспортно-логистических услуг, состоит в следующем:

1. Проведение анализа структуры грузовой базы.

Объемы грузовой базы и перевозок по видам транспорта для достижения их сопоставимости необходимо рассматривать в разрезе унифицированной номенклатуры грузов, которые обслуживаются на объектах транспортно-логистической инфраструктуры региона общего пользования, для всех видов транспорта. С этой целью вся исходная ведомственная информация и статистика структурируется и приводится к гармонизированной номенклатуре грузов ТЭБ (далее — ГНГ ТЭБ) [2], обеспечивающей сопоставимость и совместимость всех элементов исходных данных из различных источников.

Грузовую базу региона формируют определенные предприятия, находящиеся в данном регионе. В связи с этим, на региональном уровне требуется выделение основных грузообразующих предприятий, грузовая база которых суммируется и образует базу выпуска производств (ресурсная часть ТЭБ).

На основании данных Минэкономразвития России о динамике и структуре использованного валового внутреннего продукта формируются основные элементы конечного спроса, отражающие характеристику грузовой базы потребления продукции в регионе (потребительская часть ТЭБ).

На основании статистической информации Росстата, в том числе данных Федеральной таможенной службы России, формируется грузовая база ввозимых в регион номенклатурных групп грузов, в том числе поступление по импорту, относящееся к ресурсной части ТЭБ, а также грузовая база вывозимых из региона категорий грузов, в том числе экспорта продукции (потребительская часть ТЭБ).

Таким образом, соотношение между размерами производства и потребления в регионе, а также оценка объемов ввозимой и вывозимой той или иной выделенной продукции, соотнесенной с наименованием ГНГ ТЭБ, дает возможность определить достаточность и рациональную потребность в транспортно-логистических мощностях с детализацией необходимых технологических характеристик грузовых фронтов, на которых осуществляется погрузка и выгрузка грузов.

2. Проведение анализа корреспонденций грузопотоков по родам груза и видам транспорта с выделением транспортных районов отправления и прибытия грузов.

Для рассматриваемого региона выделяются транспортные районы внутри и вне него, между которыми устанавливаются корреспонденции грузопотоков.

Для описания корреспонденций грузопотоков по видам транспорта в ТЭБ используются транспортные сети видов транспорта — железнодорожного, автомобильного, речного, морского, воздушного. В совокупности эти сети должны объединяться в единый связный граф транспортной сети, который позволяет описывать как перевозки отдельными видами транспорта, так и мультимодальные перевозки [2, 3].

На основе имеющейся статистики территориальных отделений Росстата производится отбор информации по перевозкам грузов добывающей и обрабатывающей промышленности основных отраслей экономики региона с разделением по прибытию и по отправлению, а также видам транспорта. При этом также выделяются рода грузов ГНГ ТЭБ, имеющие наибольший удельный вес в общем грузообороте терминально-логистических объектов общего пользования.

Использование ведомственной информации и статистики по соответствующему виду транспорта имеет свою специфику. Наиболее полная статистическая информация — по железнодорожному транспорту, менее полная — отражает грузопотоки автомобильного транспорта. Поэтому объемы перевозок автомобильным транспортом рассчитываются с учетом баланса производства и потребления различных родов продукции в регионе и данных о ввозе-вывозе другими видами транспорта.

В результате оценки региональных корреспонденций получаем распределение между входящими и выходящими (исходящими) перевозками и видами транспорта, а также количественную потребность в переработке основных номенклатур релевантных грузов

по объемам корреспонденций с выделением центров зарождения и погашения грузопотоков.

3. При определении грузовой базы региона и релевантной номенклатуры грузов важно учитывать современные тенденции на мировом и российском рынке, анализ современных активно развивающихся логистических технологий — мультимодальных и контейнерных перевозок [17]. Реализация поэтапного комплекса мероприятий по модернизации существующего терминально-логистического комплекса (далее — ТЛК) должна способствовать дальнейшему развитию этих технологий, в свою очередь создание условий для использования таких технологий резко повышает привлекательность действующего ТЛК для участников рынка грузовых перевозок. Поэтому необходимо учесть возможное переключение существенных грузопотоков на контейнерные технологии перевозки и определить коэффициенты целесообразной пригодности к этой технологии всех возможных категорий грузов. На этом основании рассчитываются объемы существующих выходящих (исходящих) релевантных грузопотоков контейнероперевозимых грузов.

В работе [17] предложена методика многокритериальной оценки контейнеропригодности добываемой и производимой продукции региона, учитывающей технологические, транспортно-логистические и экономические параметры доставки груза от производителя до конечного потребителя. Результатом является расчет интегрального показателя уровня контейнеропригодности продукции по каждому выделенному наименованию, который позволяет определить объемы целесообразной для перевозки в контейнерах продукции в тоннах и ДФЭ⁷ по каждому наименованию, а также суммарным итогом.

Объемы существующих входящих релевантных грузопотоков контейнероперевозимых грузов можно также рассчитывать на основании коэффициентов целесообразной контейнеропригодности, в случае недостаточности информации по грузообразующим предприятиям других регионов — на основании коэффициентов контейнеризации. В свою очередь, коэффициент контейнеризации для выбранной категории грузов определяется отношением доли объема грузов данного рода, перевозимых данным видом транспорта в контейнерах, к общему объему грузов данного рода, перевозимых данным видом транспорта.

4. Для определения достаточности региональных транспортно-логистических мощностей, а также при оценке необходимости инвестиций в их развитие в среднесрочной перспективе необходимо учитывать

прогнозные оценки по потенциальной грузовой базе. С этой целью рассчитываются прогнозные объемы грузовой базы на основе межотраслевого прогноза, подготовленного Минэкономразвития России, и актуального отраслевого прогноза объема перевозок по видам транспорта.

Построение отраслевого прогноза объема перевозок по видам транспорта и согласование его с межотраслевым балансом осуществляется на основе данных об объемах и прогнозах перевозок, которые строятся Минтрансом России, подведомственными агентствами и ОАО «РЖД». В настоящее время эти прогнозы формируются на основе ведомственной информации, согласуются и увязываются с прогнозом объемов перевозок, который строится в комплексе с межотраслевым и межрегиональным балансом при помощи модели Института народнохозяйственного прогнозирования Российской академии наук. При этом производится итерационное сведение и взаимное балансирование этих прогнозов, при котором межотраслевой и межрегиональный баланс могут пересчитываться несколько раз. Чем сложнее и противоречивее входные данные, тем больше итераций может потребоваться модели для их обработки. Эксперты-аналитики, в свою очередь, могут выбирать или корректировать критерий сходимости в зависимости от требуемой точности расчетов.

Таким образом, на основании рассчитанных, с учетом ТЭБ, существующих или перспективных размеров региональных грузопотоков производится оценка достаточности эксплуатируемых транспортно-логистических мощностей с выявлением лимитирующих (дефицитных) или избыточных (резервных) перерабатывающих способностей по выделенным номенклатурным группам грузов, согласно ГНГ ТЭБ.

Распределение грузопотоков по объектам ТЛИ региона на основе экономико-математической модели. Для формализации данной задачи предлагается экономико-математическая модель транспортно-логистического обслуживания грузопотоков, обеспечивающая распределение выделенных номенклатур грузов на основе транспортно-экономических связей, учитывающих в том числе минимизацию транспортно-логистических издержек производителей-отправителей и потребителей-получателей, по эксплуатируемым объектам транспортно-логистической инфраструктуры рассматриваемого региона, характеризующимся заданными значениями параметров, определяющих их технологические особенности обработки грузов. Экономико-математическая модель может быть представлена в следующем общем виде.

⁷ ДФЭ — единица, эквивалентная двадцатифутовому контейнеру. Стандартная единица, которой является контейнер ИСО длиной 20 футов (6,1 м) и которая используется для статистических измерений, касающихся транспортных потоков или пропускной способности (условная единица измерения контейнерных перевозок).

Будем считать, что технологические параметры всех объектов транспортно-логистической инфраструктуры региона зафиксированы и заданы объемы входящих в регион грузов (грузовая база IN — «выгрузка») и выходящих (исходящих) грузов с объектов региональной транспортно-логистической инфраструктуры (далее — РТЛИ) (грузовая база OUT — «погрузка»).

Объемы грузов и перерабатывающие способности объектов РТЛИ выражены в т/сут. и являются номинальными величинами, постоянными на планируемый период. Технологические мощности объектов РТЛИ являются единым комплексом для организации погрузочно-разгрузочных работ на местах общего пользования.

Введем следующие обозначения:

p — номера предприятий-получателей грузов, $p = \overline{1, P}$;

P — общее количество предприятий-получателей грузов региона;

r — номера предприятий-отправителей грузов, $r = \overline{1, R}$;

R — общее количество предприятий-отправителей грузов региона.

Множества получателей и отправителей пересекаются, но не совпадают.

k — номера объектов ТЛИ региона, $k = \overline{1, K}$;

K — общее количество объектов ТЛИ региона;

i — номера номенклатуры грузов, входящих в регион, $i = \overline{1, M}$;

M — общее количество номенклатур грузов, входящих в регион;

j — номера номенклатуры грузов, выходящих из региона, $j = \overline{1, N}$;

N — общее количество номенклатур грузов, выходящих из региона.

Эти номенклатуры не совпадают, но пересекаются.

a_i — объем грузов i -й номенклатуры, входящих в регион, т;

b_j — объем грузов j -й номенклатуры, выходящих из региона, т;

c_{ik} — перерабатывающая способность обработки i -го груза k -м объектом РТЛИ, т.е. это максимальное количество тонн груза i , которое может переработать k -й объект РТЛИ за сутки, если никаких других грузов нет, т/сут.;

c_{jk} — перерабатывающая способность обработки j -го груза k -м объектом РТЛИ, т/сут.;

l_{pk} — «мера близости» предприятия-получателя к k -му объекту РТЛИ, км;

d_{rk} — «мера близости» предприятия-отправителя к k -му объекту РТЛИ, км;

S_{ip} — количество i -го груза, запланированного к поставке p -му предприятию;

g_{jr} — количество j -го груза, запланированного к отгрузке с r -го предприятия.

Схематичное распределение грузопотоков по объектам РТЛИ с учетом введенных условных обозначений представлено на рисунке.

Планирование входящего грузопотока заключается в распределении всей грузовой базы в объеме a_i по объектам РТЛИ и всем предприятиям-получателям так, чтобы выполнялись требования (ограничения) на перерабатывающую способность объектов РТЛИ, чтобы интегральный показатель транспортно-логистических затрат был минимальным. Это условие будет соблюдаться, если предприятия-получатели будут привязаны к объектам РТЛИ, обеспечивающим наименьшие затраты.

Введем переменные:

$$Z_{pik} = \begin{cases} 1, & \text{если предприятие } p \text{ получает } i\text{-й груз} \\ & \text{с } k\text{-го объекта РТЛИ;} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Таким образом, будем считать, что предприятие может получать разные грузы с разных объектов РТЛИ.

Целевая функция. В качестве количественного показателя, измеряющего эффективность распределения грузовой базы по объектам РТЛИ и предприятиям, рассмотрим общие затраты, понесенные всеми предприятиями-получателями по всей номенклатуре грузов:

$$I = \sum_p^P \sum_i^M \sum_k^K l_{pk} S_{ip} Z_{pik} \rightarrow \min. \quad (1)$$

В формуле (1) суммируются все затраты на тонно-километры в соответствии с близостью предприятий к выбранным объектам РТЛИ (при $Z = 1$).

Количество i -го груза, перерабатываемое на k -м объекте РТЛИ, в соответствии с введенными величинами S_{ip} и Z_{pik} выразится как

$$x_{ik} = \sum_{p=1}^P S_{ip} Z_{pik}. \quad (2)$$

Очевидно, что

$$x_{ik} \leq c_{ik},$$

однако это ограничение справедливо, если на k -м объекте РТЛИ обрабатывается только i -й груз.

На самом деле k -й объект РТЛИ может обрабатывать разные грузы i и даже выходящие грузы j . Поэтому ограничения задачи объединяют входной и выходной грузопотоки.

Выходящий грузопоток описывается привязкой предприятий-отправителей j -х грузов через K объектов РТЛИ региона.

Аналогично предыдущему описанию введем переменные h_{rjk} :

$$h_{rjk} = \begin{cases} 1, & \text{если } r\text{-е предприятие-поставщик отправляет} \\ & j\text{-й груз через } k\text{-й объект РТЛИ;} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

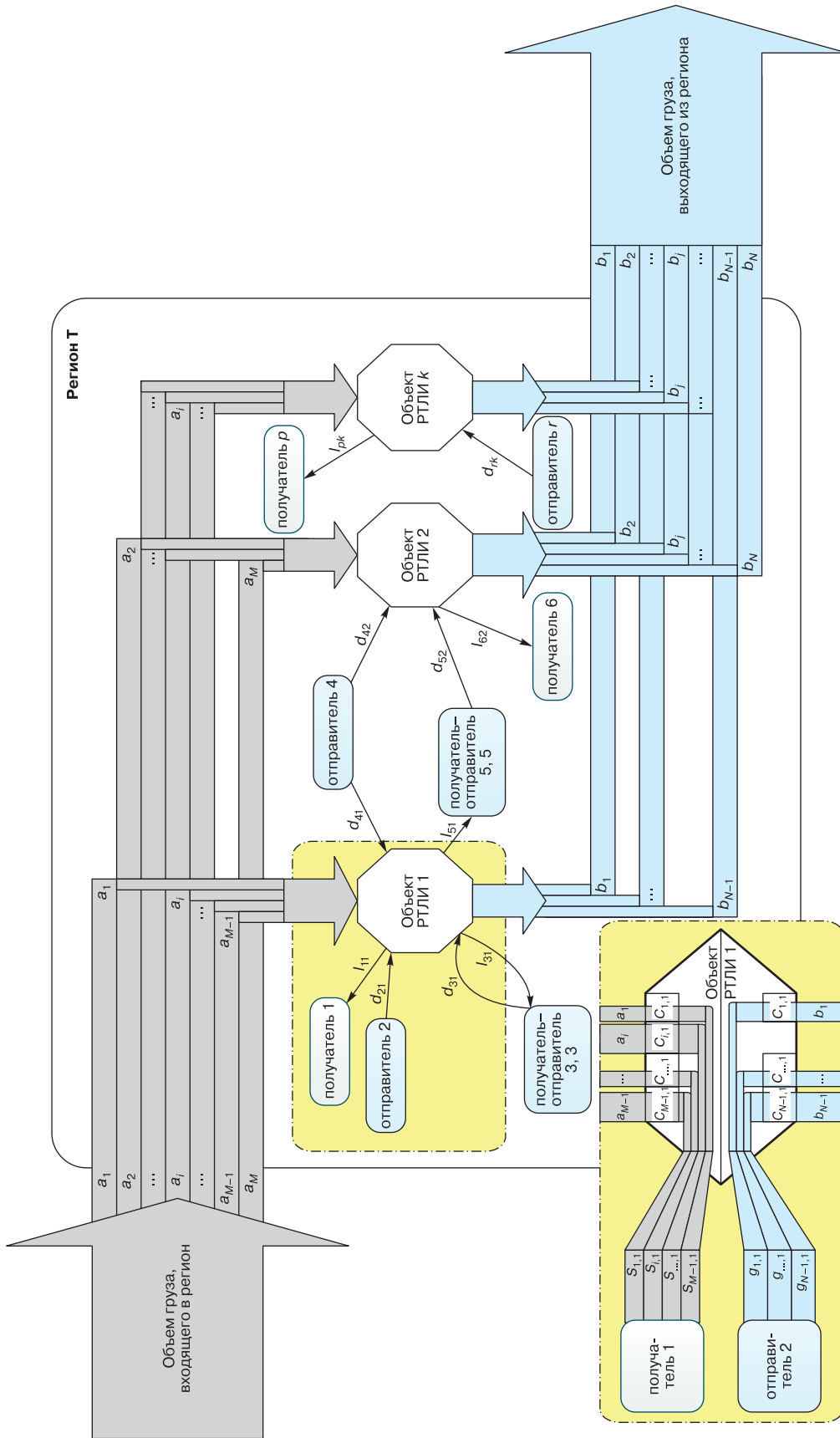


Рис. Схема распределения грузопотоков по объектам транспортно-логистической инфраструктуры региона*:

a_i — объем грузов i -й номенклатуры из M грузов, входящих в регион (τ); b_j — объем грузов j -й номенклатуры из N грузов, выходящих из региона (τ); $C_{jk} (C_{ij})$ — перерабатывающая способность обработки i -го (j -го) груза k -м объектом РТЛИ ($\tau/\text{сут.}$); S_{ip} — количество i -го груза, запланированного к поставке p -му предприятию-получателю; g_{ir} — количество j -го груза, запланированного к отгрузке с r -го предприятия-отправителя

* Источник: данные авторов

Fig. Scheme of freight flows distribution by objects of transport and logistics infrastructure of the region*:

a_i — the volume of goods of the i -th nomenclature of the M cargoes entering the region (tons); b_j — volume of goods of the j -th nomenclature of the N cargoes leaving the region (tons); $C_{jk} (C_{ij})$ — processing capacity processing of the i -th (j -th) cargo by the p -th regional transport and logistics infrastructure object (tons/day); S_{ip} — amount of the i -th cargo scheduled for delivery to the p -th recipient enterprise; g_{ir} — amount of the j -th cargo scheduled for shipment from the r -th sender enterprise

* Source: authors' data

Тогда целевая функция для выходного грузопотока выражает общие затраты, понесенные всеми предприятиями-отправителями по всей номенклатуре грузов, и с учетом введенных выше величин имеет вид:

$$O = \sum_r \sum_j \sum_k d_{rk} g_{jr} h_{rjk} \rightarrow \min. \quad (3)$$

В формулах (1) и (3) суммирование происходит одновременно по трем индексам, но для первых произведений $l_{pk} S_{ip}$ и $d_{rk} g_{jr}$ третьи индексы излишни, поскольку мера близости от предприятия до конкретного объекта РТЛИ не зависит от типа груза, который отправляет/получает предприятие, а количество груза, которое предприятие отправляет/получает, не зависит от того, через какой объект РТЛИ грузопоток проходит, т.е. эти показатели будут при различных третьих индексах постоянны.

Очевидно, общим критерием будет

$$W = I + O = \sum_p \sum_i \sum_k l_{pk} S_{ip} Z_{pik} + \sum_r \sum_j \sum_k d_{rk} g_{jr} h_{rjk} \rightarrow \min. \quad (4)$$

Количество j -го груза, перерабатываемого на k -м объекте РТЛИ, с учетом величин g_{jr} и h_{rjk} , будет выражено:

$$y_{jk} = \sum_{r=1}^R g_{jr} h_{rjk}. \quad (5)$$

Рассмотрим ограничения на выбор Z_{pik} и h_{rjk} :

1. Каждое p -е по i -му грузу предприятие и каждое r -е предприятие по j -му грузу должно быть привязано к объекту РТЛИ (может быть не одним):

$$\sum_{k=1}^K Z_{pik} \geq 1, \quad p = \overline{1, P}, \quad i = \overline{1, M}. \quad (6)$$

2. Аналогично для предприятий-отправителей:

$$\sum_{k=1}^K h_{rjk} \geq 1, \quad r = \overline{1, R}, \quad j = \overline{1, N}. \quad (7)$$

3. Общий объем переработки входящих и выходящих грузов не должен превышать перерабатывающей способности k -го объекта. Величина $\frac{x_{ik}}{c_{ik}}$ — доля i -го груза на k -м объекте по отношению к максимальной величине (перерабатывающей способности). Аналогично для выходных грузов $j = \frac{y_{jk}}{c_{jk}}$, тогда

$$\sum_{i=1}^M \frac{x_{ik}}{c_{ik}} + \sum_{j=1}^N \frac{y_{jk}}{c_{jk}} \leq 1, \quad k = \overline{1, K}. \quad (8)$$

Используя выражения (2) и (5), получим:

$$\sum_{i=1}^M \frac{\sum_{p=1}^P S_{ip} Z_{pik}}{c_{ik}} + \sum_{j=1}^N \frac{\sum_{r=1}^R g_{jr} h_{rjk}}{c_{jk}} \leq 1, \quad k = \overline{1, K}. \quad (9)$$

Заметим, что величины a_i , b_j могут быть выражены по заданным величинам плановых объемов S_{ip} и g_{jr} , а именно:

$$\sum_{p=1}^P S_{ip} = a_i, \quad i = \overline{1, M}; \quad (10)$$

$$\sum_{r=1}^R g_{jr} = b_j, \quad j = \overline{1, N}. \quad (11)$$

Формулы (10) и (11) представляют собой условия баланса для решения задачи распределения грузопотоков для обслуживания на объектах РТЛИ.

Следовательно, получаем оптимизационную задачу (4), (6), (7), (9) при условии баланса (10), (11).

Отметим, что математические модели оптимизационных задач в вышеприведенной постановке являются линейными и представляют собой задачи линейного булевого программирования⁸ [18], решение которых хорошо изучено и может быть получено с использованием известных программных средств, например, MS Excel.

В задачу анализа процессов обслуживания грузов региона входит не только оптимальное планирование при известных технологических мощностях транспортно-логистической инфраструктуры и параметрах ее объектов, но и нахождения резервов (потенциала развития) и определения «узких мест», требующих инвестиций. В этом смысле применение аппарата линейного булевого программирования позволяет, как дополнительные функции, использовать параметрический анализ. Эти средства позволяют найти уязвимые параметры объектов РТЛИ и параметры, чувствительные к критериальной величине. Например, если при заданных исходных данных решение задачи недопустимо, то можно выявить, какое ограничение не выполняется, и тем самым определить критический ресурс — «узкое место» в системе обслуживания/обработки грузопотоков. Используя программу MS Excel, можно определить новые решения, если параметры задачи увеличить или уменьшить, реализуя функцию анализа «что если».

Обсуждение и заключение. Использование предлагаемых методических принципов и разработанной экономико-математической модели позволит получить полную и объективную информацию о достаточности развития региональной транспортно-логистической инфраструктуры, определить лимитирующие (дефицитные)

⁸ Есипов Б. А. Методы исследования операций: учеб. пособие. СПб.: Лань, 2013. 304 с.

или избыточные (резервные) перерабатывающие мощности грузовых фронтов по выделенным номенклатурным группам грузов. Это позволит перейти к разработке поэтапного комплекса мероприятий по модернизации существующего транспортно-логистического комплекса региона и обоснованию технологических мощностей.

В перспективе дальнейшего исследования становится осуществимым переход к разработке поэтапного комплекса мероприятий по модернизации существующего транспортно-логистического комплекса региона (определению первоочередных объектов ТЛИ с дефицитными перерабатывающими мощностями; выбору типовых и/или цифровых оптимизационных технико-технологических решений) и обоснованию технологических мощностей, что, в целом, повысит эффективность принимаемых управленческих решений в реализации инвестиционных инфраструктурных проектов.

Благодарности: авторы выражают благодарность рецензентам за полезные замечания, способствовавшие улучшению статьи.

Acknowledgements: the authors express gratitude to the reviewers for useful comments that contributed to the improvement of the article.

Финансирование: статья выполнена в рамках государственного задания Федерального агентства железнодорожного транспорта на выполнение научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ гражданского назначения (номер государственного учета: 1022060600077-7-5.7.4).

Funding: the article was carried out within the framework of the state assignment of the Federal Agency for Railway Transport to carry out research, development and technological work for civil purposes (state registration No. 1022060600077-7-5.7.4).

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest and no financial interests in any material discussed in this article.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Москвичев О. В., Москвичева Е. Е. Системный анализ математических моделей размещения транспортно-логистических объектов различного уровня // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2022. Т. 81, № 3. С. 267–276. <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2022-81-3-267-276>. EDN: <https://elibrary.ru/bpxeol>.

Moskvichev O. V., Moskvicheva E. E. System analysis of mathematical models of placement of transport and logistics facilities of different levels. *Russian Railway Science Journal*. 2022;81(3):267–276. (In Russ.). <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2022-81-3-267-276>. EDN: <https://elibrary.ru/bpxeol>.

2. Евсеев О. В., Мурашов В. В., Забоев А. И. и др. Транспортно-экономический баланс и его роль в координации транспортного планирования в условиях цифровой трансформации // Современные информационные технологии и ИТ-образование. 2018. Т. 14, № 3. С. 717–726. <https://doi.org/10.25559/sitito.14.201803.717-726>. EDN: <https://elibrary.ru/yyhqh>.

Evseev O. V., Murashov V. V., Zabojev A. I. et al. Transport and economic balance and its role in the coordination of transport planning during the digitalization era. *Modern information technologies and IT-education*. 2018;14(3):717–726. (In Russ.). <https://doi.org/10.25559/sitito.14.201803.717-726>. EDN: <https://elibrary.ru/yyhqh>.

3. Жуков Е. А., Федоренко А. И. О методологии разработки транспортно-экономических балансов // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие). 2013. № 14. С. 44–51. EDN: <https://elibrary.ru/rcebdr>.

Zhukov E. A., Fedorenko A. I. On the methodology of the design of transport and economic balance. *MIR (Modernization. Innovation. Development)*. 2013;(14):44–51. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/rcebdr>.

4. Леонтьев В. В. Общеэкономические проблемы межотраслевого анализа. Избранные произведения: в 3 т. Т. 1. 2006. 406 с.

Leont'yev V. V. *General economic problems of intersectoral analysis*. Selected works: in 3 volumes. Volume 1. 2006. 406 p. (In Russ.).

5. Копылова О. А., Рахмангулов А. Н. Проблемы выбора места размещения логистических центров // Современные проблемы транспортного комплекса России. 2011. Т. 1, № 1. С. 58–67. EDN: <https://elibrary.ru/pasgaz>.

Kopylova O. A., Rakhmangulov A. N. Problems of choosing the location of logistics centers. *Modern problems of Russian transport complex*. 2011;1(1):58–67. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/pasgaz>.

6. Rikalović A., Soares G. A., Ignjatić J. Spatial analysis of logistics center location: A comprehensive approach. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*. 2018;1(1):38–50. <https://doi.org/10.31181/dmame180138r>.

7. Рожко О. Н., Шихалев А. М. Оценка вариантов размещения логистических объектов на территории региона методом многокритериальной оптимизации (на примере Республики Татарстан) // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2017. Т. 10, № 6. С. 153–169. <https://doi.org/10.15838/esc.2017.6.54.10>. EDN: <https://elibrary.ru/vudann>.

Rozhko O. N., Shikhalev A. M. Assessment of options for logistics objects in the region using multi-criteria optimization (case study of the Republic of Tatarstan). *Economic and social changes: facts, trends, forecast*. 2017;10(6):153–169. (In Russ.). <https://doi.org/10.15838/esc.2017.6.54.10>. EDN: <https://elibrary.ru/vudann>.

8. Попов П. В., Мирецкий И. Ю. Методология построения логистической инфраструктуры на территории региона // Экономика региона. 2019. Т. 15, № 2. С. 483–492. <https://doi.org/10.17059/2019-2-13>. EDN: <https://elibrary.ru/xclqib>.

Popov P. V., Miretskij I. Yu. Methodology for constructing the region's logistics infrastructure. *Economy of regions*. 2019;15(2):483–492. (In Russ.). <https://doi.org/10.17059/2019-2-13>. EDN: <https://elibrary.ru/xclqib>.

9. Москвичев О. В. Терминальная инфраструктура и контейнерные поезда: кластеризация объектов // Мир транспорта. 2017. Т. 15, № 5(72). С. 158–173. EDN: <https://elibrary.ru/ymjsfz>.

Moskvichev O. V. Terminal infrastructure and container trains: object clustering. *World of transport and transportation*. 2017;15(5(72)):158–173. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/ymjsfz>.

10. Москвичев О. В., Москвичева Е. Е., Булатов А. А. Кластеризация методов для определения оптимальных мест размещения и распределения центров. *Transportation Research Procedia*. 2021;54:461–469. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.02.096>. EDN: <https://elibrary.ru/sqkvqz>.

11. Deng C., Liu Y. A deep learning-based inventory management and demand prediction optimization method for anomaly detection. *Wireless Communications and Mobile Computing*. 2021;(1):1–14. <https://doi.org/10.1155/2021/9969357>.

12. Lewczuk K., Kłodawski M., Gepner P. Energy consumption in a distributional warehouse: A practical case study for different warehouse technologies. *Energies*. 2021;14(9):2709. <https://doi.org/10.3390/en14092709>.

13. Король П. Г., Числов О. Н. Моделирование терминально-логистических процессов переработки внешнеторговых грузов на пограничной станции Гродеково // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2022. Т. 81, № 3. С. 258–266. <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2022-81-3-258-266>. EDN: <https://elibrary.ru/cgqhjd>.

Korol' R. G., Chislov O. N. Simulation of terminal and logistics processes of foreign trade cargo processing at the Grodekovo border station. *Russian Railway Science Journal*. 2022;81(3):258–266. (In Russ.). <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2022-81-3-258-266>. EDN: <https://elibrary.ru/cgqjhd>.

14. Оленцевич В. А., Горшков В. В., Брытков В. С. Современное состояние и проблемы развития транспортно-логистической системы России // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2024. № 1(81). С. 103–112. [https://doi.org/10.26731/1813-9108.2024.1\(81\).103-112](https://doi.org/10.26731/1813-9108.2024.1(81).103-112). EDN: <https://elibrary.ru/khsiah>.

Olentsevich V. A., Gorshkov V. V., Brytkov V. S. The current state and development problems of the transport and logistics system of Russia. *Modern technologies. System analysis. Modeling*. 2024;1(81):103–112. (In Russ.). [https://doi.org/10.26731/1813-9108.2024.1\(81\).103-112](https://doi.org/10.26731/1813-9108.2024.1(81).103-112). EDN: <https://elibrary.ru/khsiah>.

15. Кизмиров М. В., Черняев Е. В. Управление складом в транспортно-логистических центрах на основе стратегий ресурсосбережения // Вестник Челябинского государственного университета. 2024. № 11 (493). С. 116–124. <https://doi.org/10.47475/1994-2796-2024-493-11-116-124>. EDN: <https://elibrary.ru/ehporu>.

Kizimirov M. V., Cherniaev E. V. Warehouse management in transport and logistics centers based on resource-saving strategies. *Bulletin of Chelyabinsk State University*. 2024;11(493):116–124. (In Russ.). <https://doi.org/10.47475/1994-2796-2024-493-11-116-124>. EDN: <https://elibrary.ru/ehporu>.

16. Акельев А. С., Король Р. Г. Оптимизация параметров функционирования терминально-логистической инфраструктуры железнодорожной транспортной системы // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2024. № 3(95). С. 79–89. https://doi.org/10.46973/0201-727X_2024_3_79. EDN: <https://elibrary.ru/pxkqux>.

Akeliev A. S., Korol' R. G. Optimization of operating parameters of the terminal and logistics infrastructure of the railway transport system. *Vestnik RUPS*. 2024;3(95):79–89. (In Russ.). https://doi.org/10.46973/0201-727X_2024_3_79. EDN: <https://elibrary.ru/pxkqux>.

17. Москвичев О. В. Клиентоориентированная контейнерная транспортная система. М.: ВИНТИ РАН. 2018. 186 с. EDN: <https://elibrary.ru/weerkh>.

Moskvichev O. V. *Customer-oriented container transport system*. Moscow: VINITI RAN. 2018. 186 p. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/weerkh>.

18. Еремеев А. В., Заозерская Л. А., Колоколов А. А. Задача о покрытии множества: сложность, алгоритмы, экспериментальные исследования // Дискретный анализ и исследование операций. Серия 2. 2000. Т. 7, № 2. С. 22–46. EDN: <https://elibrary.ru/ibbfdl>.

Eremeev A. V., Zaozerskaya L. A., Kolokolov A. A. The set covering problem: complexity, algorithms, and experimental investigations. *Discrete analysis and operations research. Series 2*. 2000;7(2):22–46. (In Russ.). EDN: <https://elibrary.ru/ibbfdl>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Олег Валерьевич МОСКВИЧЕВ,

д-р. техн. наук, доцент, директор института управления и экономики, Приволжский государственный университет путей сообщения (ПривГУПС, 443066, г. Самара, ул. Свободы, д. 2в), SPIN-код: 7813-3547, <https://orcid.org/0000-0002-3423-1451>

Елена Евгеньевна МОСКВИЧЕВА,

канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Технологии грузовой и коммерческой работы, станции и узлы», Приволжский государственный университет путей сообщения (ПривГУПС, 443066, г. Самара, ул. Свободы, д. 2в), SPIN-код: 5447-2334, <https://orcid.org/0000-0002-4729-7695>

Юрий Сергеевич НИКОНОВ,

старший преподаватель кафедры «Управление эксплуатационной работой», Приволжский государственный университет путей сообщения (ПривГУПС, 443066, г. Самара, ул. Свободы, д. 2в), SPIN-код: 8029-8051, <https://orcid.org/0000-0001-9428-8778>

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Oleg V. MOSKVICHEV,

Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor, Director of the Institute of Management and Economics, Volga State Transport University (443066, Samara, 2B, Svobody St.), SPIN-code: 7813-3547, <https://orcid.org/0000-0002-3423-1451>

Elena E. MOSKVICHEVA,

Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Department of Technologies of Cargo and Commercial Work, Stations and Hubs, Volga State Transport University (443066, Samara, 2B, Svobody St.), SPIN-code: 5447-2334, <https://orcid.org/0000-0002-4729-7695>

Iurii S. NIKONOV,

Senior Lecturer, Department of Operational Work Management, Volga State Transport University (443066, Samara, 2B, Svobody St.), SPIN-code: 8029-8051, <https://orcid.org/0000-0001-9428-8778>

ВКЛАД АВТОРОВ

Олег Валерьевич МОСКВИЧЕВ. Формирование идеи, развитие ключевых целей и задач, выбор методологии исследования, редактирование и подготовка текста статьи (30 %).

Елена Евгеньевна МОСКВИЧЕВА. Разработка методических принципов оценки грузовой базы региона, экономико-математической модели распределения грузопотоков по объектам ТЛИ региона (35 %).

Юрий Сергеевич НИКОНОВ. Обзор литературы по тематике исследования, разработка экономико-математической модели распределения грузопотоков по объектам ТЛИ региона, подготовка рукописи статьи (35 %).

CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Oleg V. MOSKVICHEV. Idea formation, key goals and objectives development, research methodology selection, article editing and preparation (30 %).

Elena E. MOSKVICHEVA. Development of methodological principles for assessing the cargo base of the region, economic and mathematical model for the distribution of freight flows by transport and logistics infrastructure objects in the region (35 %).

Iurii S. NIKONOV. Literature review on the research topic, development of an economic and mathematical model for the distribution of freight flows by transport and logistics infrastructure objects in the region, article preparation (35 %).

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

The authors have read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 06.10.2025, рецензия от первого рецензента получена 07.11.2025, рецензия от второго рецензента получена 17.11.2025, рецензия от третьего рецензента получена 20.11.2025, принята к публикации 01.12.2025.

The article was submitted 06.10.2025, first review received 07.11.2025, second review received 17.11.2025, third review received 20.11.2025, accepted for publication 01.12.2025.