

Д. И. Кочнева^{а)}, В. М. Сай^{б)}^{а, б)} Уральский государственный университет путей сообщения, г. Екатеринбург, Российская Федерация^{а)} <https://orcid.org/0000-0001-7991-1277>, e-mail: dana_rich@mail.ru^{б)} <https://orcid.org/0000-0003-1061-2855>

Интегрированное управление контейнерной транспортной системой региона¹

В настоящее время региональные контейнерные транспортные системы функционируют в условиях неполноты информации и отсутствия интеграции хозяйствующих субъектов. Каждая компания преследует только собственные экономические интересы, что зачастую приводит к дисбалансу развития терминальных мощностей в регионе, возникновению нерациональных порожних контейнеропотоков и снижению эффективности функционирования региональной контейнерной системы в целом. В настоящей статье предложен подход к интегрированному управлению контейнерной транспортной системой региона на основе координации распределения контейнеропотока между терминалами. Назначение предложенной технологии состоит в повышении эффективности функционирования системы в целом, в том числе за счет укрупнения потока и формирования ускоренных контейнерных поездов. Подход предполагает взаимный обмен информацией между грузовладельцами, терминалами, железной дорогой и собственниками ресурсов на базе цифровой логистической платформы, основная функция которой состоит в формировании эффективных логистических цепей с учетом географии перевозок, пропускной способности инфраструктуры, интересов субъектов контейнерного рынка. Приведена математическая формализация оптимальных транспортно-логистических цепей доставки контейнера по критерию времени и предложена модель интегрированного распределения контейнеропотока между терминалами. Модель позволяет распределить совокупный контейнеропоток региона между существующими на территории терминальными мощностями таким образом, чтобы общее время доставки груза (с учетом времени накопления полносоставного маршрутного контейнерного поезда на терминале) было минимальным. Апробация модели для условий контейнерной транспортной системы Уральского региона показала, что интегрированный подход позволяет сократить время доставки грузов в среднем на 5 суток за счет укрупнения потока и организации регулярных маршрутных контейнерных поездов. Величина этого эффекта зависит от объема совокупного контейнеропотока региона, генерируемого в определенном направлении: большее число заявок на перевозку позволяет быстрее сформировать и накопить укрупненный поток для контейнерного поезда. Предложенная технология представляет экономический интерес для разных субъектов контейнерной транспортной системы: для грузовладельцев — это сокращение срока доставки груза и, следовательно, повышение оборачиваемости капитала, для собственников контейнерного парка — ускорение оборота контейнеров и сокращение порожнего пробега, для терминалов — повышение пропускной способности за счет сокращения времени накопления контейнеров на площадках. В развитии модели предполагается разработка инструментов координации не только исходящего, но и входящего контейнеропотока между существующими терминалами.

Ключевые слова: контейнерная транспортная система региона, контейнеропоток, контейнерный поезд, логистическая цепь, интегрированное управление, региональный интегратор, цифровая платформа, организационная сеть, коллаборация, региональное развитие

Для цитирования: Кочнева Д. И., Сай В. М. Интегрированное управление контейнерной транспортной системой региона // Экономика региона. 2021. Т. 17, вып. 4. С. 1270-1285. <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2021-4-16>.

¹ © Кочнева Д. И., Сай В. М. Текст. 2021.

RESEARCH ARTICLE

Daria I. Kochneva ^{a)}, Vasiliy M. Say ^{b)}^{a, b)} Ural State University of Railway Transport, Ekaterinburg, Russian Federation^{a)} <https://orcid.org/0000-0001-7991-1277>, e-mail: dana_rich@mail.ru^{b)} <https://orcid.org/0000-0003-1061-2855>

Integrated Management of the Regional Container Transport System

Nowadays, regional container transport systems operate in the context of incomplete information and lack of integration of economic entities. Pursuance of personal economic gains by companies often leads to an imbalance in the development of regional terminal capacities, irrational empty container flows and a decreased efficiency of the regional container system in general. The present article proposes an approach to the integrated management of the regional container transport system based on the coordinated container flow distribution between terminals. This technology aims to increase the efficiency of the whole system, including due to the flow enlargement and the accelerated container trains formation. The approach involves the data sharing between cargo owners, terminals, the railway and resource owners on a digital logistics platform that forms logistics chains taking into account the transportation geography, infrastructure capacity and the interests of container market entities. The research presents a mathematical formalisation of the optimal container delivery chains by the time criterion, as well as a model of the integrated distribution of container flows between terminals. The model distributes the total container flow generated by a region between the existing terminal facilities in a way to minimise the total time of cargo delivery (taking into account the accumulation time of the full-length container block train at the terminal). The model, tested in the conditions of the container transport system in the Ural region, showed that an integrated management approach reduces the average container delivery time by 5 days due to the flow enlargement and regular container block trains. The effect size depends on the total regional container flow, as the larger number of requests for transportation to a certain destination leads to the accelerated formation of loaded container trains. The proposed technology is of economic interest for various participants of the container transport system. For cargo owners, it reduces the delivery time and, consequently, increases the capital turnover; for container owners, it accelerates the container turnover and reduces empty running; for terminals, it increases the throughput by reducing the accumulation time. To improve the model, it is planned to develop approaches for coordinating not only outgoing, but also incoming container flows between existing terminals.

Keywords: container transport system of the region, container flow, container block train, logistics chain, integrated management, regional integrator, digital platform, organisational network, collaboration, regional development

For citation: Kochneva, D. I. & Say, V. M. (2021). Integrated Management of the Regional Container Transport System. *Ekonomika regiona [Economy of regions]*, 17(4), 1270-1285, <https://doi.org/10.17059/ekon.reg.2021-4-16>.

Введение

В настоящее время контейнерные перевозки являются наиболее востребованным и динамично развивающимся видом транспортировки грузов. Они позволяют максимально унифицировать и оптимизировать транспортировку, повысить эффективность погрузочно-разгрузочных работ, обеспечить сохранность перевозимой продукции.

Необходимым условием для повышения уровня контейнеризации является создание надлежащей организационно увязанной инфраструктуры, которая обеспечивает своевременную и надежную отгрузку произведенной в регионе продукции. В данном случае речь идет не только о традиционных контейнеропригодных грузах, но и о сырьевых товарах, перевозка которых в контейнерах стала возможной за счет развития специализированного парка и совершенствования средств упаковки груза.

Для согласованного развития контейнерных перевозок в соответствии с потребностями регионов необходимо обладать научно обоснованным подходом к организации взаимодействия, с одной стороны, между хозяйствующими субъектами, составляющими контейнерную транспортную систему, с другой — между контейнерной транспортной системой и регионом.

Организация взаимодействия в сложных экономических системах — одна из наиболее обсуждаемых научных проблем. В литературе представлены различные термины, описывающие взаимодействие независимых хозяйствующих субъектов в экономике: кластеризация [1–4], коллаборация [5–7], управление цепями поставок [8–9], организационная сеть [10–12]. Эти понятия различаются по форме объединения и типу экономических связей, однако опираются на общую идею — сотрудничество

предприятий на основе единства целей и интеграции функций повышает управляемость и обеспечивает больший эффект для каждого элемента этого объединения.

Многие исследователи, соглашаясь с необходимостью интегрированного планирования экономических систем, также отмечают высокую сложность практической реализации этой идеи. Так, в [8] обозначена проблема неустойчивости формируемых организационно-экономических объединений (кластеров, организационных сетей, цепей поставок), которая объясняется приоритетом собственных интересов хозяйствующих субъектов над общими, что приводит к возникновению внутрисистемных конфликтов. Другая проблема — высокие издержки администрирования интегрированных экономических систем: для эффективной координации деятельности хозяйствующих субъектов в объединении требуется обрабатывать большие объемы информации и быстро реагировать на изменения внешней среды, что обуславливает существенные затраты [9]. Также в работах [2, 13] отмечены проблемы несогласованного развития отраслевых кластеров (или организационных сетей) с потребностями системы более высокого уровня — региона. Обозначенные факты подтверждают сохраняющуюся актуальность научных исследований в области организации взаимодействия в сложных экономических системах.

В исследованиях региональных транспортных систем идеи интеграции также широко представлены. В работах [14–16] рассматриваются эффекты от региональной интеграции морских портов, разрабатываются сценарии взаимодействия, способные обеспечить наибольшую выгоду от сотрудничества конкурирующих в регионе портовых терминалов. Исследования [17–21] посвящены моделированию взаимодействия транспортных предприятий в логистических цепях на основе горизонтальной интеграции. В качестве инструментов моделирования использованы теория игр [17, 18, 20], генетический алгоритм [19], экономико-математическое моделирование [21].

Новый подход к интегрированному управлению в контейнерной транспортной системе (КТС) предложен в работах О.В. Москвичева [22, 23]. Его идея предполагает формирование двухуровневой структуры КТС, а именно: уровень 1 — сеть контейнерных терминалов (КТ), накапливающих контейнерные грузы от предприятий, и уровень 2 — сеть контейнерных накопительно-распределительных центров

(КНРЦ), накапливающих потоки от КТ и обеспечивающих формирование контейнерных поездов. В данном случае КНРЦ выступает интегратором региональной контейнерной системы. На наш взгляд, такой подход позволит концентрировать большие объемы контейнеропотока, массово внедрять контейнерные поезда, исключив длительные сроки их накопления. Однако в исследованиях О.В. Москвичева не учтены возможные конфликты между участниками контейнерной транспортной системы: на сегодняшний день контейнерные активы (терминалы, порты, контейнеры, подвижной состав) принадлежат множеству собственников, поэтому интегрировать КТС необходимо с учетом их частных интересов. Другая проблема этого подхода — длительные сроки и высокие инвестиции, связанные со строительством сети КНРЦ и развитием необходимой инфраструктуры.

Поэтому в настоящем исследовании разрабатывается иной подход к интеграции региональных КТС, который не противоречит принципам, изложенным О.В. Москвичевым, однако предусматривает иной механизм взаимодействия хозяйствующих субъектов и более быструю реализацию за счет новых цифровых технологий.

Подход к интегрированному управлению региональной контейнерной транспортной системой

Контейнерная транспортная система (КТС) региона представляет собой множество хозяйствующих субъектов, функционирующих на определенной территории, взаимодействующих между собой и выполняющих функции по приему, отправке и переработке контейнерного потока в регионе.

В качестве объекта исследования в работе выбран макрорегион — Уральский федеральный округ. Анализируемая региональная КТС неоднородна. Так, например, в Свердловской области в настоящее время деятельность осуществляют три крупных контейнерных терминала: ПАО «ТрансКонтейнер» (станция Екатеринбург-Товарный), ООО «Модуль» (станция Шувакиш), АО «СиАйТи Терминал» (станция Кольцово).

Кроме того, переработка контейнеров в Свердловской области осуществляется на собственных терминалах экспедиционных компаний (ООО «ТС-Контейнер», ООО «ПЖТ-55» и др.), на контейнерных площадках дирекции по управлению терминально-складским комплексом ОАО «РЖД» (станции

— Богданович, Нижний Тагил) и на подъездных путях грузоотправителей (ОАО «КУМЗ», ОАО «Уралэлектромедь», ОАО «Свеза Верхняя Сиячиха» и др.).

В соседних со Свердловской областью субъектах РФ также функционируют контейнерные терминалы общего пользования ПАО «ТрансКонтейнер» (на станциях Челябинск-Грузовой, Магнитогорск-Грузовой, Курган), а также ряд частных контейнерных площадок, в том числе ООО «ЮТЭК» (станция примыкания — Челябинск-Грузовой), АО «Сибур-Транс» (станция Тобольск) и др.

Треть поступающих в регион контейнеров принадлежит контейнерному оператору ПАО «ТрансКонтейнер», остальные — международным судоходным компаниям (Maersk Line, FESCO, COSCO Group, CMA CGM Group и другие) и множеству небольших экспедиционных предприятий.

В настоящее время функционирование анализируемой региональной КТС осуществляется в условиях неполноты информации, при отсутствии интеграции хозяйствующих субъектов. Как правило, каждый терминал обслуживает конкретного грузовладельца: подает ему порожний контейнер под загрузку, принимает груженный, накапливает партию и отправляет по назначению. В этих условиях возможны следующие ситуации:

а) на терминале не имеется достаточного количества порожних контейнеров под загрузку и отправку в нужном направлении (учитывая, что контейнеры, принадлежащие судоходным или иностранным компаниям, могут быть отправлены только в конкретном направлении);

б) объем партии контейнеров, предназначенных для отправки в определенном направлении, не позволяет сформировать полноценный контейнерный поезд, в этом случае происходит или накопление контейнеров в течение определенного периода, или отправка одиночных контейнеров в составе сборных поездов;

в) мощности отдельного терминала в определенный момент времени загружены переработкой входящего контейнеропотока, поэтому клиент вынужден ожидать обслуживания.

Интегрированный подход предполагает иную модель взаимодействия: при формировании контейнеропотока региона учитываются наличие порожних контейнеров и перерабатывающие способности не отдельного терминала, «привязанного» к клиенту, а все имеющиеся в системе ресурсы.

В этом случае появляется необходимость создания в регионе некоего субъекта-интегратора, который возьмет на себя функции координации контейнерных потоков с учетом баланса интересов транспортных компаний, их клиентов и региона на основе взаимного обмена информацией.

Сама идея сетевого интегратора не является новой, однако для контейнерной системы остается спорным вопрос, кто должен взять на себя его функции, какими полномочиями его наделить и какую организационную форму ему придать: организационно-правовую или организационно-экономическую. В литературе рассматриваются различные варианты интегратора: им может быть крупная компания сети [24], государственно-частное предприятие [25], логистический центр [26], региональный контейнерный накопительно-распределительный центр (РКТИЦ) [22], интернет-биржа [27].

На наш взгляд, задача интегратора — формировать наиболее эффективные потоки с учетом интересов всех входящих в сеть элементов (включая и элементы региона как субъекта). В основе такого организационно-экономического объединения должно быть партнерство, основанное на взаимовыгодных условиях. В практическом смысле мы говорим не о создании физического центра сбора и распределения контейнеропотоков, как в [22], а о некотором виртуальном цифровом пространстве, которое формирует эффективные цепи движения контейнеропотока и координирует взаимодействия на основе информации, которую предоставляют партнеры этого объединения.

В отличие от транспортной интернет-биржи [27] предлагаемая цифровая платформа — не только пространство для обмена информацией и поиска клиентов, но и система планирования и оперативного управления контейнеропотоками региона.

Создание такого рода цифровой платформы требует существенно меньших капиталовложений, чем строительство в регионах логистических накопительно-распределительных центров. Но, по сути, выполняя ту же задачу, что и РКТИЦ, цифровой интегратор способен добиться того же экономического эффекта.

Экономическая выгода от участия в объединении для различных партнеров выражается в косвенных эффектах повышения управляемости контейнеропотоком:

— для грузовладельцев — сокращение срока доставки груза и, следовательно, повышение оборачиваемости капитала;



Рис. 1. Схема функционирования цифровой платформы для контейнерного бизнеса

Fig. 1. Scheme of functioning of the digital platform for the container business

— для собственников контейнерного парка — ускорение оборота контейнеров и сокращение порожнего пробега;

— для терминалов — повышение пропускной способности за счет сокращения времени накопления контейнеров на площадках.

В целом предлагаемый интегрированный подход позволит повысить конкурентоспособность контейнерных перевозок на рынке транспортных услуг.

Итак, цифровая логистическая платформа для контейнерного бизнеса — система алгоритмизированных взаимовыгодных отношений значимого количества независимых участников контейнерного рынка и их клиентов (грузовладельцев), осуществляемых в единой информационной среде.

Укрупненная схема функционирования цифровой логистической платформы представлена на рисунке 1.

Функции предлагаемой цифровой платформы включают:

- сбор и анализ данных в организационной сети контейнерных перевозок для их последующего коллективного использования и обмена;

- стратегическое и тактическое планирование развития контейнерной транспортной системы на основе потребностей региона;

- оперативную координацию контейнерных потоков и формирование эффективных логистических цепей с учетом географии перевозок, пропускной способности инфраструктуры, интересов субъектов контейнерного рынка;

- взаимодействие с клиентами контейнерной транспортной системы (грузовладельцами) по принципу одного окна;

- взаимодействие с регионом для формирования наиболее эффективных инвестиционных потоков.

Модель организации цепи контейнерных перевозок с участием интегратора

Эффективное управление интегрированной контейнерной транспортной системой региона должно опираться на результаты моделирования. Имитационная модель, с одной стороны, позволит проигрывать возможные сценарии транспортного обслуживания и развития КТС, с другой — станет основой для разработки алгоритмизированной цифровой платформы оперативного управления контейнеропотоками в регионе.

Объектом оптимизации в модели КТС региона является логистическая цепь, то есть линейно упорядоченное множество пунктов генерации, перевалки и поглощения контейнеропотока.

В общем виде такую цепь можем представить как триаду звеньев: пункт грузоотправителя — контейнерный терминал — станция (терминал) назначения. На данном этапе в рамках модели абстрагируемся от операций, которые происходят с контейнером после его прибытия на станцию назначения, то есть рассматриваем доставку «франко — станция назначения».

В то же время эту цепь можем анализировать как множество операций, осуществляемых в процессе доставки контейнера. В общем виде этот процесс можем представить как набор звеньев:

- 1) подача порожнего контейнера грузоотправителю под загрузку;

- 2) подвоз груженого контейнера на терминал;

- 3) накопление контейнеропотока на терминале;

- 4) отправка контейнеропотока по железной дороге грузополучателю.

В качестве критерия оптимальности цепи на данном этапе предложено использовать время доставки контейнера. Время доставки, разумеется, является не единственным критерием эффективности. Однако в современных условиях основным для получения конкурентных преимуществ железнодорожного транспорта, особенно в сравнении с автомобильными перевозками.

Введем обозначения.

В регионе присутствует множество i -х клиентов-грузоотправителей, желающих отправить груз в контейнерах в j -м направлении в момент времени t . Контейнеропоток перерабатывает множество k -х терминалов.

Для каждого k -го терминала задана пропускная способность $P(k, t)$, которая определяет объем переработки контейнеропотока в единицу времени t и зависит от емкости контейнерных площадок, производительности погрузочных механизмов и способа организации работ на терминале.

Существуют альтернативные способы подачи порожнего контейнера грузовладельцу под загрузку и его последующей доставки на терминал: автотранспорт и железная дорога (при наличии подъездных путей). Время подвоза порожнего контейнера $T_{д1}(i, k, t, x)$ зависит от мест размещения клиентов i и терминалов k , а также выбранного способа доставки: примем $x = 0$ для автодоставки, $x = 1$ для железнодорожной доставки. Аналогично обозначим время доставки груженого контейнера от клиента на терминал — $T_{д2}(i, k, t, x)$.

Величину порожнего потока, подаваемого клиенту с k -го контейнерного терминала в i -й пункт назначения в j -м направлении в момент времени t способом x обозначим переменной $q_1(i; j; k; t; x)$.

Величину груженого потока, подаваемого на k -й контейнерный терминал из i -го пункта назначения в j -м направлении в момент времени t способом x обозначим переменной $q_2(i; j; k; t; x)$.

Существуют альтернативные способы отправки контейнера по железной дороге из региона: контейнерный поезд без переформирования до пункта назначения или одиночная отправка контейнера в составе сборного поезда. В первом случае время доставки, очевидно, будет меньшим, однако потребуется больше времени для его накопления на тер-

минале. Во втором случае время железнодорожной перевозки большее, но с минимальным сроком накопления (накопление для формирования комплекта на вагон). Обозначим время перевозки контейнера по железной дороге $T_n(i, k, t, y)$, где y — вариант организации железнодорожной перевозки: $y = 0$ для сборного поезда, $y = 1$ для контейнерного поезда. Время накопления контейнеров для отправки — $T_n(i, k, t, y)$. Величину грузевого потока, отправляемого с k -го контейнерного терминала в j -ом направлении в момент времени t способом y обозначим переменной $q_3(j; k; t; y)$.

Общее время движения контейнера по логистической цепи из пункта i в пункт j составит:

$$T_{\text{ц}}(i, k, j, t) = T_{\text{д1}}(i, k, t, x) + T_{\text{д2}}(i, k, t, x) + T_n(i, k, t, y) + T_n(i, k, t, y), \quad (1)$$

Отметим также, что в выражении (1) $T_{\text{д1}}(i, k, t, x) \neq T_{\text{д2}}(i, k, t, x)$, так как с точки зрения предлагаемого интегрированного подхода порожние контейнеры могут быть доставлены клиентам под загрузку с одного терминала (или с нескольких), а возвращены на другой терминал сети для последующей отправки по назначению.

Таким образом, формируется сеть из всех возможных вариантов организации контейнерной перевозки с последовательностью звеньев $k - i - k - j$ (рис. 2).

Возможен частный вариант формирования контейнерных логистических цепей в регионе, когда контейнеры со склада грузоотправителя подают на некоторый ближайший терминал, откуда они перенаправляются по железной дороге на другой терминал для укрупнения контейнеропотока. В этом случае меняется последовательность звеньев: $i - k - k - j$, но общий

принцип моделирования движения контейнеропотока остается неизменным.

Итак, в общем формализованном виде задачу распределения контейнеропотока в региональной терминальной сети представим следующим образом: для каждого i в момент t найти такие $q_1(i; j; k; t; x)$, $q_2(i; j; k; t; x)$ и $q_3(j; k; t; y)$ при $(i = 1, \dots, N)$, $(k = 1, \dots, K)$, $(j = 1, \dots, M)$, $(x = 0, 1)$, $(y = 0, 1)$, чтобы $T_{\text{ц}}(i, k, j, t) = T_{\text{д1}}(i, k, t, x) + T_{\text{д2}}(i, k, t, x) + T_n(i, k, t, y) + T_n(i, k, t, y) \Rightarrow \min$.

Ограничениями в модели выступают мощности терминалов, вместимость контейнерных площадок, наличие порожних контейнеров в регионе, нормативные сроки накопления контейнеров для отправки, нормативный объем отправки контейнерного поезда, величина входящего контейнеропотока.

Наиболее очевидный алгоритм решения задачи — перебор всех возможных вариантов формирования цепи и выбор оптимального решения для каждого i . Однако согласно правилам комбинаторики, число вариантов пути $\langle k; i; k; j \rangle$ составит: $K \times N \times K \times M$. При наличии двух допустимых видов транспорта подвоза контейнеров и двух способов отправки контейнеров число возможных вариантов пути увеличится еще в 4 раза. Поэтому вычисление оптимальной цепи движения контейнеропотока методом простого перебора является практически нереализуемым.

Поэтому для решения поставленной задачи требуются специальный математический алгоритм и разработка имитационной компьютерной модели, которая позволит находить субоптимальные решения в условиях динамического и стохастического поведения системы.

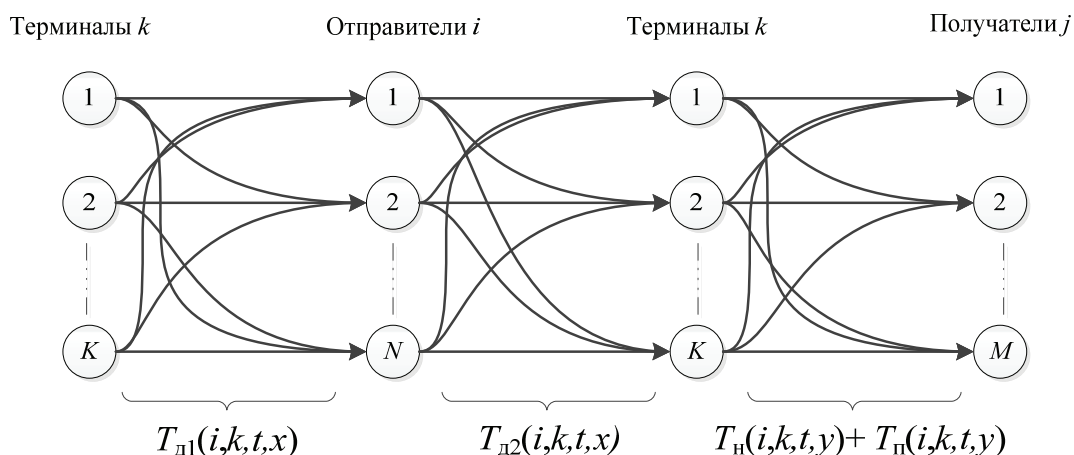


Рис. 2. Сеть альтернативных вариантов движения контейнеропотока при интегрированном управлении КТС
 Рис. 2. Alternative network for the movement of container flows with the integrated management of the regional container systems

Алгоритм, имитационная модель и результаты ее апробации на фактических данных формируются и будут опубликованы в следующих работах.

Для проверки гипотезы о потенциальной эффективности интегрированного распределения контейнеропотока между терминалами построим упрощенную статическую (без учета переменной t) экономико-математическую модель и апробируем ее на фактических данных о погрузке контейнеров в регионе.

На первоначальном этапе для упрощения модели примем следующие допущения:

1) груженные контейнеры поступают на терминалы равномерно, то есть при известной величине отправки контейнеров в регионе за некий период T определим средний суточный объем их поступления на терминалы:

$$\bar{q}(i, j, k) = \frac{\sum_{t=1}^T q(i, j, k, t)}{T}; \quad (2)$$

2) примем, что в регионе имеется достаточное число порожних контейнеров под загрузку в нужном направлении на ближайшем терминале, то есть величинами $T_{д1}$ и q_1 пренебрегаем;

3) ограничения пропускной способности терминалов $P(k)$ зададим пропорционально объемам погрузки без учета грузовой работы по выгрузке и сортировке контейнеропотока;

4) средний срок накопления партии груженных контейнеров для отправки по направлению рассчитаем по теореме Литтла, согласно которой «среднее количество заявок в системе равно средней интенсивности входного потока, умноженной на среднее время пребывания заявки в системе» [28]. То есть в нашем случае преобразуем выражение и получим:

$$\bar{T}_i(j, k) = \frac{Y}{q(j, k)}, \quad (3)$$

где Y — величина партии отправки контейнеров, для контейнерного поезда примем $Y = 142$ ДФЭ, что соответствует нормативной длине полносоставного поезда 71 условный вагон; для сборных поездов $Y = 4$ ДФЭ, что соответствует комплекту контейнеров на вагон.

Пусть $q(i, j, k)$ — матрица заявок на перевозку груженных контейнеров размерностью $i \times j \times k$, характеризующая объем поступления контейнеров на k -й терминал от отправителя i в направлении j ;

$q_2(i, k)$ — матрица распределения доставки контейнеропотока от отправителей i на терминалы k ;

$q_3(j, k)$ — матрица распределения отправки контейнеропотока с k -х терминалов в j -х направлениях;

$a(j, k)$ — матрица смежности распределения контейнеропотока, где $a(j, k) = 1$ означает, что j -й контейнеропоток сгруппирован на терминале k , $a = 0$ — в противном случае;

$T_{д2}(i, k)$ — среднее время доставки контейнера на терминал k от отправителя i ;

$T_{п}(j, k)$ — среднее время контейнера в пути с терминала k до получателя в регионе j .

Найти $q(i, j, k)$, $a(j, k)$, чтобы минимизировать целевую функцию:

$$F(q, a) = \frac{\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^N q_2(i, k) \cdot T_{д2}(i, k)}{\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^N q_2(i, k)} + \frac{\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^M a(j, k) \cdot T_{п}(j, k)}{\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^M a(j, k)} + \frac{\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^M a(j, k) \cdot T_{п}(j, k)}{\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^M a(j, k)}, \quad (4)$$

при ограничениях:

$$q_2(i, k) = \sum_{j=1}^M q(i, j, k); \quad (5)$$

$$q_3(j, k) = \sum_{i=1}^N q(i, j, k) \cdot a(j, k); \quad (6)$$

$$\sum_{k=1}^K q_3(j, k) = \sum_{j=1}^M q(i, j, k); \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M q(i, j, k) \leq P(k); \quad (8)$$

$$q(i, j, k) \geq 0 \quad (9)$$

$$a(j, k) = \{0, 1\} \quad (10)$$

Апробация модели организации цепи контейнерных перевозок с участием интегратора

Для апробации модели выберем малый массив данных о терминалах сети, грузоотправителях и получателях (при полном объеме данных число итераций слишком велико и задача не будет разрешена методом простого перебора). Также отберем те направления формирования контейнеропотока, где существует выгода формирования контейнерных поездов с точки зрения времени до-

Таблица 1

Фактическое распределение контейнеропотока в терминальной сети, ДФЭ

Table 1

Actual container flow distribution in the terminal network, TEU

Направление отправки ($i - j$)	Терминал (станция) отправления, k						Всего
	Екат.-Тов.	Шувакиш	Кольцово	Челябинск	Ревда	УАЗ	
Екатеринбург — Амурская обл.	6	2					8
Екатеринбург — Санкт-Петербург	32	42	3				77
Екатеринбург — Забайкальский край	10						10
Екатеринбург — Иркутская обл.	9	4					13
Екатеринбург — Краснодарский край	3	18					21
Екатеринбург — Красноярский край	6		4				10
Екатеринбург — Приморский край	11	4	49				64
Челябинск — Амурская обл.				3			3
Челябинск — Санкт-Петербург	2			4			6
Челябинск — Забайкальский край	8			5			13
Челябинск — Иркутская обл.				13			13
Челябинск — Краснодарский край				6			6
Челябинск — Красноярский край				5			5
Челябинск — Приморский край			5	4			9
Ревда — Амурская обл.					4		4
Ревда — Санкт-Петербург	2				2		4
Ревда — Иркутская обл.					6		6
Ревда — Краснодарский край					12		12
Каменск-Уральский — Санкт-Петербург						4	4
Каменск-Уральский — Иркутская обл.						4	4
Каменск-Уральский — Приморский край						3	3

ставки: среднее время накопления и времени в пути контейнерного поезда в регион не превышает времени доставки в составе сборного поезда.

Итак, пусть контейнеропоток формируется на станциях: Екатеринбург-Товарный (терминал ПАО «ТрансКонтейнер»), Шувакиш (терминал ООО «Модуль»), Кольцово (терминал АО «СиАйТи Терминал»), Челябинск-Главный (терминал ПАО «ТрансКонтейнер»), Ревда и УАЗ (станции примыкания подъездных путей грузоотправителей).

Груженные контейнеры поступают на терминалы от отправителей: Екатеринбург, Челябинск, Ревда, Каменск-Уральский.

Регионы доставки контейнеров: Амурская область, Санкт-Петербург, Забайкальский край, Иркутская область, Краснодарский край, Красноярский край, Приморский край.

При существующем подходе контейнеропоток распределен следующим образом (табл. 1). Контейнерные поезда курсируют: в Санкт-Петербург с терминалов Екатеринбург-Товарный и Шувакиш, в Приморский край с терминала Кольцово. По остальным направлениям — отправляются в составе сборных поездов.

На основе приведенных статистических данных, допуская равномерность поступления контейнеропотока на терминалы (см. формула (2)), рассчитаем среднее время доставки контейнеров при существующем способе распределение потока. В расчетах примем: время доставки контейнера на терминал — 1 сутки (контейнер доставляется на ближайший терминал); время накопления — по формуле Литтла (3); время в пути до станции назначения — исходя из норм суточного пробега¹. Расчет сведен в таблице 2.

Перераспределим контейнеропоток с помощью экономико-математической модели (4)–(10).

Расчет произведен по средствам алгоритма поиска решения обобщенного приведенного градиента (ОПГ), реализованного в MS Excel.

Получены следующие матрицы распределения потока $q(i, j, k)$, $q_2(i, k)$, $q_3(j, k)$, $a(j, k)$ (табл. 3–6).

В ходе решения задачи получено значение целевой функции (см. выражение (4)) — 14,01 суток.

¹ Об утверждении Правил исчисления сроков доставки грузов, порожних грузовых вагонов железнодорожным транспортом. Приказ Минтранса России от 07.08.2015 № 245 (ред. от 28.12.2017).

Таблица 2

Расчетное время движения контейнеропотока при существующем способе распределения контейнеропотока, сут.
Table 2

Estimated time of movement of container flows with the existing distribution method, days

Направление от- правки, j	Терминал (станция) отправления, k						Среднее время доставки
	Екат.-Тов.	Шувакиш	Кольцово	Челябинск	Ревда	УАЗ	
Амурская обл.	25,4	26,4		25,3	25,6		25,7
Санкт-Петербург	10,2 (КП)	9,7 (КП)	14,5	15,51	15,51	14,73	13,4
Забайкальский край	24,2			23,2			23,7
Иркутская обл.	17,2	17,2		16,7	17,8	17,7	17,3
Краснодарский край	17,2	16,9		16,2	17,5		16,9
Красноярский край	15,4			14,8			16,1
Приморский край	26,6	26,6	18,2 (КП)	26,2		27,3	25,0
В среднем по всем направлениям							19,73

КП — доставка осуществляется в контейнерном поезде.

Таблица 3

Распределение контейнеропотока между терминалами при интегрированном подходе (матрица $q(i, j, k)$), ДФЭ
Table 3

Container flow distribution between terminals with the integrated approach (matrix $q(i, j, k)$), TEU

i	j	k				$\sum_{k=1}^K q(i, j, k)$
		Екатеринб.-Тов.	Шувакиш	Кольцово	Челябинск-Гр.	
Екатеринбург	Амурская область	8				8
Екатеринбург	Санкт-Петербург		77			77
Екатеринбург	Забайкальский край				10	10
Екатеринбург	Иркутская область	13				13
Екатеринбург	Краснодарский край	21				21
Екатеринбург	Красноярский край	10				10
Екатеринбург	Приморский край			64		64
Челябинск	Амурская область	3				3
Челябинск	Санкт-Петербург		6			6
Челябинск	Забайкальский край				13	13
Челябинск	Иркутская область	13				13
Челябинск	Краснодарский край	6				6
Челябинск	Красноярский край	5				5
Челябинск	Приморский край			9		9
Ревда	Амурская область	4				4
Ревда	Санкт-Петербург		4			4
Ревда	Забайкальский край					0
Ревда	Иркутская область	6				6
Ревда	Краснодарский край	12				12
Ревда	Красноярский край					0
Ревда	Приморский край					0
Каменск-Уральский	Амурская область					0
Каменск-Уральский	Санкт-Петербург		4			4
Каменск-Уральский	Забайкальский край					0
Каменск-Уральский	Иркутская область	4				4
Каменск-Уральский	Краснодарский край					0
Каменск-Уральский	Красноярский край					0
Каменск-Уральский	Приморский край			3		3
$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M q(i, j, k)$		105	91	76	23	

Таблица 4

Распределение контейнеропотока между терминалами при интегрированном подходе
(сгруппированная матрица $q_2(i, k)$), ДФЭ

Table 4

Container flow distribution between terminals with the integrated approach (grouped matrix $q_2(i, k)$), TEU

i	k				$\sum_{k=1}^K q_2(i, k)$
	Екатеринбург-Тов.	Шувакиш	Кольцово	Челябинск-Гр.	
Екатеринбург	52	77	64	10	203
Челябинск	27	6	9	13	55
Ревда	22	4	0	0	26
Каменск-Уральский	4	4	3	0	11
$\sum_{i=1}^N q_2(i, k)$	105	91	76	23	

Таблица 5

Распределение контейнеропотока между терминалами при интегрированном подходе
(сгруппированная матрица $q_3(j, k)$), ДФЭ

Table 5

Container flow distribution between terminals with the integrated approach (grouped matrix $q_3(j, k)$), TEU

j	k				$\sum_{k=1}^K q_3(j, k)$
	Екатеринбург-Тов.	Шувакиш	Кольцово	Челябинск-Гр.	
Амурская обл.	15	0	0	0	15
Санкт-Петербург	0	91	0	0	91
Забайкальский край	0	0	0	23	23
Иркутская обл.	36	0	0	0	36
Краснодарский край	39	0	0	0	39
Красноярский край	15	0	0	0	15
Приморский край	0	0	76	0	76
$\sum_{j=1}^M q_3(j, k)$	105	91	76	23	

Таблица 6

Матрица смежности распределения контейнеропотока (матрица $a(j, k)$)

Table 6

Adjacency matrix of container flow distribution (matrix $a(j, k)$)

	Екатеринбург-Тов.	Шувакиш	Кольцово	Челябинск-Гр.
Амурская область	1	0	0	0
Санкт-Петербург	0	1	0	0
Забайкальский край	0	0	0	1
Иркутская область	1	0	0	0
Краснодарский край	1	0	0	0
Красноярский край	1	0	0	0
Приморский край	0	0	1	0

Таблица 7

Оценка эффективности интегрированного подхода к распределению контейнеропотока

Table 7

Efficiency assessment of the integrated approach to container flow distribution

Направление отправки	Срок доставки при существующем распределении потока, сут.	Срок доставки при интегрированном распределении потока, сут.	Сокращение среднего срока доставки в регион, сут. (%)
Амурская обл.	25,68	22,06	3,62 (14 %)
Санкт-Петербург	13,37	6,51	6,85 (51 %)
Забайкальский край	23,69	16,39	7,30 (31 %)
Иркутская обл.	17,33	11,64	5,69 (33 %)
Краснодарский край	16,94	9,76	7,18 (42 %)
Красноярский край	16,09	15,21	0,89 (6 %)
Приморский край	24,98	16,52	8,46 (34 %)

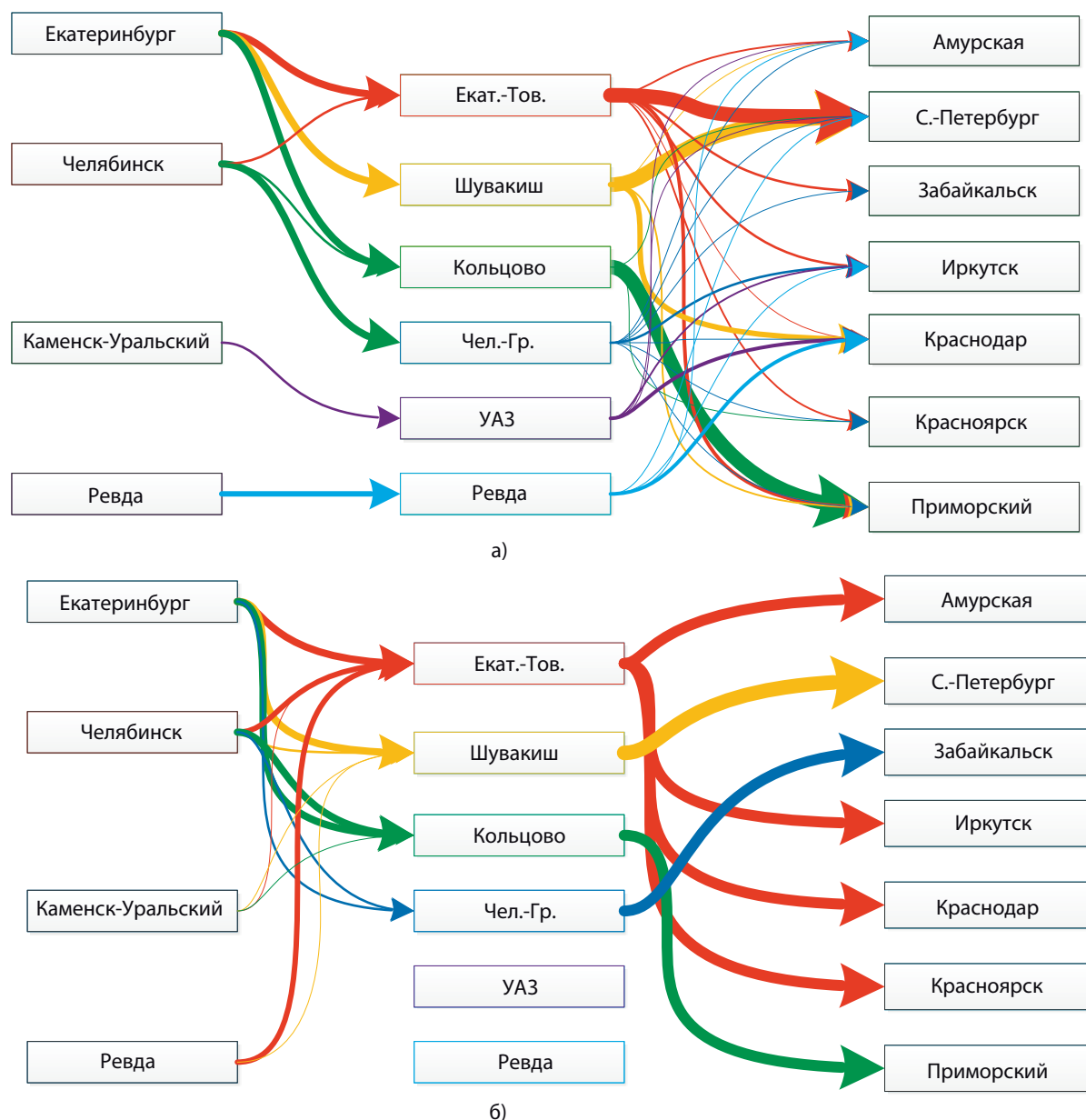


Рис. 3. Распределение контейнеропотока (а) фактическое, б) интегрированный подход
Fig. 3. Container flow distribution: a) actual, b) integrated approach

Сравнение фактического и интегрированного подходов к распределению контейнеропотока по направлениям представлено в таблице 7 и на рисунке 3.

Эксперимент с моделью показал, что интегрированное управление позволяет сокращать общее время доставки контейнеров за счет организации маршрутных контейнерных поездов на различных направлениях перевозки. Так, например, при заданных исходных данных средний срок доставки контейнеров в Амурскую область сократится на 3,62 суток (14 %), в Санкт-Петербург — на 6,85 суток (51 %), в Забайкальский край — на 7,3 суток (31 %) и т.д. (табл. 7). Величина этого эффекта зависит от объема контейнеропотока, генери-

руемого регионом в определенном направлении: большее число заявок на перевозку позволяет быстрее сформировать и накопить укрупненный поток для контейнерного поезда. Таким образом, можем утверждать, что увеличение данных в системе позволит получить тот же или больший эффект от взаимодействия. Для подтверждения гипотезы требуется проведение большого объема численных экспериментов на реальных данных, что, в частности, позволит установить охват субъектов контейнерного рынка для получения достаточного эффекта. Имитационная модель и численные эксперименты с ней формируются и будут опубликованы в последующих работах.

Заключение

В работе предложен новый подход к интегрированному планированию региональной контейнерной транспортной системы, основанный на скоординированном распределении контейнеропотока между терминалами для повышения эффективности функционирования системы в целом, в том числе за счет укрупнения потока и формирования ускоренных контейнерных поездов. Подход предполагает взаимный обмен информацией между грузовладельцами, терминалами, железной дорогой и собственниками ресурсов на базе цифровой платформы, учитывает текущую и потенциальную потребность региона в контейнеризации, пропускную способность сети, интересы собственников контейнерного парка.

В отличие от подхода, представленного в [26], предложенный подход предполагает не строительство новых контейнерных накопительно-распределительных центров для формирования контейнерных поездов, а рациональное распределение контейнеропотоков между существующими терминалами, что позволит сократить финансовые вложения в развитие сети, повысить эффективность региональной КТС в первую очередь за счет организационных, а не инвестиционных мероприятий.

Приведена математическая формализация оптимальных транспортно-логистических цепей доставки контейнера по критерию времени и предложена экономико-математическая модель интегрированного распределения контейнеропотока между терминалами. В перспективе интегратор, созданный для контей-

нерного бизнеса, может (или должен) «подтягивать» в сеть операторов других способов перевозки (вагонных операторов, автотранспорт, судоходные компании). В современных условиях практически любой груз — контейнеропригоден (за счет специализированного контейнерного парка), так же, как и пригоден для перевозки в вагонах и автомобилях. Речь идет об экономической целесообразности использования того или иного подвижного состава в той или иной ситуации в условиях ограниченного количества ресурсов. Поэтому на основе предложенного подхода возможно формировать ускоренные маршрутные поезда с использованием любого типа подвижного состава.

В развитии модели предполагается разработка инструментов координации не только исходящего, но и входящего контейнеропотока между существующими терминалами.

Предложенная технология представляет экономический интерес для разных субъектов контейнерной транспортной системы: для грузовладельцев — это сокращение срока доставки груза и, следовательно, повышение оборачиваемости капитала, для собственников контейнерного парка — ускорение оборота контейнеров и сокращение порожнего пробега, для терминалов — повышение пропускной способности за счет сокращения времени накопления контейнеров на площадках.

Формирование аналогичных интегрированных сетей в других регионах позволит рационально управлять потоками контейнеров по всей сети железных дорог России.

Список источников

1. Резер С. М. Характеристика существующих кластерных систем транспортных коридоров в направлении Европа-Азия и Север-Юг. Евро-Азиатские МТК («Европа-АТР») // Интегрированная логистика. 2016. № 4. С. 7–13.
2. Дубровская Ю. В., Козоногова Е. В. Анализ особенностей кластеризации экономики на основе мирового опыта // Государственное управление. Электронный вестник. 2016. URL: http://eejournal.spa.msu.ru/uploads/vestnik/2016/issue_58._october_2016/58_2016.pdf#page=126 (дата обращения: 01.02.2020). DOI: doi.org/10.24411/2070-1381-2016-00045.
3. Самуйлов В. М., Покровская О. Д. Практика и эффективность формирования транспортно-логистических кластеров // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2016. № 4. С. 76–88. DOI: doi.org/10.20291/2079-0392-2016-4-76-88.
4. Волинчук А. Б., Крылова И. А. Теоретические подходы к определению транспортно-логистического кластера // Азимут научных исследований. Экономика и управление. 2018. № 7 (22). С. 77–80.
5. Сычев В. В., Чимитдоржиев Ж. Ж. Территориальный распределительный центр как основа для коллаборации // Современные проблемы регионального развития. Мат.-лы VII-й всерос. науч. конф. Биробиджан, 09–11 окт. 2018 г. / отв. ред. Е. Я. Фрисман. Биробиджан: ИКАРП ДВО РАН — ФГБОУ ВПО «ПГУ им. Шолом-Алейхема», 2018. С. 384–386. DOI: doi.org/10.31433/978-5-904121-22-8-2018-384-386.
6. Kayikci Y., Bartolacci M. R., LeBlanc L. J. Identifying the Key Success Factors in Strategic Alignment of Transport Collaboration Using a Hybrid Delphi-AHP // Contemporary Approaches and Strategies for Applied Logistics. 2018. P. 1–36. DOI: doi.org/10.4018/978-1-5225-5273-4.ch001.
7. Cleophas C. Collaborative urban transportation: Recent advances in theory and practice // European Journal of Operational Research. 2019. Vol. 273, No 3. P. 801–816. DOI: doi.org/10.1016/j.ejor.2018.04.037.

8. Ghadimi P., Wang C., Lim M. K. Sustainable supply chain modeling and analysis: Past debate, present problems and future challenges // *Resources, Conservation and Recycling*. 2019. № 140. P. 72–84. DOI: doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.09.005.
9. Ongbali S. O., Afolalu S. A., Babalola P. O. Supply chain management and the accompanying problems in production environment: a review // *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*. 2019. № 10 (5). P. 613–619.
10. Громов И. Д., Сай В. М. Моделирование взаимоотношений хозяйствующих субъектов элементарной организационной сети с разделенными интересами // *Современные проблемы транспортного комплекса России*. 2017. № 3 (1). С. 199–208.
11. Сай В. М., Кочнева Д. И. Моделирование интегральной системы взаимоотношений в региональной сети контейнерных перевозок // *Вестник Уральского государственного университета путей сообщения*. 2016. № 4. С. 65–75. DOI: doi.org/10.20291/2079-0392-2016-4-65-75.
12. Saukko L., Aaltonen K., Haapasalo H. Inter-organisational project network integration: a systematic literature review // *International Journal of Project Organisation and Management*. 2019. No 11 (4). P. 287–310. DOI: doi.org/10.1504/IJPOM.2019.104180.
13. Kochneva D., Say V., Parshina V. Estimation of container system development in a region // *MATEC Web of Conferences*. 2018. URL: https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/abs/2018/75/mateconf_pts2018_02022/mateconf_pts2018_02022.html (accessed: 01.02.2020). DOI: doi.org/10.1051/mateconf/201821602022.
14. Dong G., Zheng S., Lee P. T. W. The effects of regional port integration: The case of Ningbo-Zhoushan Port // *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2018. No 120. P. 1–15. DOI: doi.org/10.1016/j.tre.2018.10.008.
15. Modeling the effects of competition on seaport terminal awarding / T. L. Yip, J. J. Liu, X. Fu, J. Feng // *Transport Policy*. 2014. No 35. P. 341–349. DOI: doi.org/10.1016/j.tranpol.2014.04.007.
16. Zhuang W., Luo M., Fu X. A game theory analysis of port specialization-implications to the Chinese port industry // *Maritime Policy & Management*. 2014. No 41 (3). P. 268–287. DOI: doi.org/10.1080/03088839.2013.839517.
17. Saeed N. Cooperation among freight forwarders: Mode choice and intermodal freight transport // *Research in Transportation Economics*. 2013. No 42 (1). P. 77–86. DOI: doi.org/10.1016/j.retrec.2012.11.005.
18. Horizontal collaborative transport: survey of solutions and practical implementation issues / S. Pan, D. Trentesaux, E. Ballot, G. Q. Huang // *International Journal of Production Research*. 2019. No 57 (15). P. 5340–5361. DOI: doi.org/10.1080/00207543.2019.1574040.
19. Hu J., Huang Y. Genetic algorithm for the cargo shunting cooperation between two hub-and-spoke logistics networks // *Journal of Industrial Engineering and Management*. 2019. No 12 (2). P. 356–372. DOI: doi.org/10.3926/jiem.2815.
20. Horizontal collaboration: opportunities for improved logistics planning / W. Ferrell, K. Ellis, P. Kaminsky, C. Rainwater // *International Journal of Production Research*. 2019. P. 1–18. DOI: doi.org/10.1080/00207543.2019.1651457.
21. Каримли Н. Т. Моделирование методов системной интеграции в транспортном обслуживании региона // *Экономика и предпринимательство*. 2017. № 1. С. 334–339.
22. Москвичев О. В. Клиентоориентированная контейнерная транспортная система. Москва : ВИНТИ РАН, 2018. 186 с.
23. Москвичев О. В. Терминальная инфраструктура и контейнерные поезда. Кластеризация объектов // *Мир транспорта*. 2017. № 15 (72). С. 158–173.
24. Сай В. М. Планетарные структуры управления на железнодорожном транспорте // Москва: ВИНТИ РАН. 2003. 45 с.
25. Цветков В. А., Зоидов К. Х., Медков А. А. Государственно-частное партнерство — основная форма реализации транспортно-транзитного потенциала России // *Экономика региона*. 2017. № 13 (1). С. 1–12. DOI: doi.org/10.17059/2017-1-1.
26. Цыганов В. В., Савушкин С. А. Терминально-логистический центр как структура управления транспортной сети // *Транспорт. Наука, техника, управление*. 2017. № 1. С. 13–18.
27. Горяев Н. К. Теория и практика транспортной интернет-биржи. Челябинск : Издательский центр ЮУрГУ, 2010. 101 с.
28. Little J. D. C. A Proof for the Queuing Formula: $L = \lambda W$ // *Operations Research*. 1961. No 9 (3). P. 383–387. DOI: doi.org/10.1287/opre.9.3.383.

References

1. Rezer, S. M. (2016). Description of the existing cluster systems of transport corridors in the direction of Europe-Asia and North-South. Euro-Asian ITC (“Europe-Asia Pacific”). *Integrirovannaya logistika [Integrated logistics]*, 4, 7–13. (In Russ.)
2. Dubrovskaya, J. V. & Kozonogova, E. V. (2016). An Analysis of Economy Clustering (Based on the International Experience). *Gosudarstvennoe upravlenie. Elektronnyy Vestnik [Public Administration. E-journal (Russia)]*, 58. Retrieved from: http://eejournal.spa.msu.ru/uploads/vestnik/2016/issue_58_october_2016/58_2016.pdf#page=126 (Date of access: 01.02.2020). DOI: 10.24411/2070-1381-2016-00045 (In Russ.)
3. Samuilov, V. M. & Pokrovskaya, O. D. (2016). Practice and efficiency of forming transport-logistical clusters. *Vestnik Uralskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya [Herald of the Ural State University of Railway Transport]*, 4, 76–88. DOI: 10.20291/2079-0392-2016-4-76-88 (In Russ.)

4. Volynchuk, A. B. & Krylova, I. A. (2018). *Theoretical approaches to the determination of the transport and logistic cluster. Azimut nauchnykh issledovaniy: ekonomika i upravlenie [Azimuth of scientific research: economics and administration]*, 7(22), 77–80. (In Russ.)
5. Sychev, V. V. & Chimitdorzhev, Zh. Zh. (2018). Territorial distribution center basis for collaboration. In: E. Ya. Frisman (Ed.), *Sovremennye problemy regionalnogo razvitiya. Mat-ly VII-y vseros. nauch. konf. Birobidzhan, 09–11 okt. 2018 g. [Present problems of regional development. Materials of the VII All-Russian Scientific Conference, Birobidzhan, 09–11 October 2018]* (pp. 384–386). Birobidzhan: Sholom Aleichem Priamursky State University. DOI: 10.31433/978–5–904121–22–8-2018–384–386 (In Russ.)
6. Kayikci, Y., Bartolacci, M. R. & LeBlanc, L. J. (2018). Identifying the Key Success Factors in Strategic Alignment of Transport Collaboration Using a Hybrid Delphi-AHP. In: *Contemporary Approaches and Strategies for Applied Logistics* (pp. 1–36). IGI Global. DOI: 10.4018/978–1–5225–5273–4.ch001
7. Cleophas, C. (2019). Collaborative urban transportation: Recent advances in theory and practice. *European Journal of Operational Research*, 273(3), 801–816. DOI: 10.1016/j.ejor.2018.04.037.
8. Ghadimi, P., Wang, C. & Lim, M. K. (2019). Sustainable supply chain modeling and analysis: Past debate, present problems and future challenges. *Resources, Conservation and Recycling*, 140, 72–84. DOI: 10.1016/j.resconrec.2018.09.005.
9. Ongbali, S. O., Afolalu, S. A. & Babalola, P. O. (2019) Supply chain management and the accompanying problems in production environment: a review. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*, 10(5), 613–619.
10. Gromov, I. D. & Say V. M. (2017). Modeling of relationship of economic units elementary organizational networks with separation concerns. *Sovremennye problemy transportnogo kompleksa Rossii [Modern Problems of Russian Transport Complex]*, 1(3), 199–208. (In Russ.)
11. Say, V. M. & Kochneva, D. I. (2016). *Modeling an integral relationship system in the regional container transport network. Vestnik Uralskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya [Herald of the Ural State University of Railway Transport]*, 4, 65–75. DOI: 10.20291/2079–0392–2016–4-65–75 (In Russ.)
12. Saukko, L., Aaltonen, K. & Haapasalo, H. (2019). Inter-organisational project network integration: a systematic literature review. *International Journal of Project Organisation and Management*, 11(4), 287–310. DOI: 10.1504/IJPOM.2019.104180
13. Kochneva, D., Say, V. & Parshina, V. (2018). *Estimation of container system development in a region. MATEC Web of Conferences*. Retrieved from: https://www.matec-conferences.org/articles/mateconf/abs/2018/75/mateconf_pts2018_02022/mateconf_pts2018_02022.html (Date of access: 01.02.2020). DOI: 10.1051/mateconf/201821602022.
14. Dong, G., Zheng, S. & Lee, P. T. W. (2018). The effects of regional port integration: The case of Ningbo-Zhoushan Port. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 120, 1–15. DOI: 10.1016/j.tre.2018.10.008
15. Yip, T. L., Liu, J. J., Fu, X. & Feng, J. (2014). Modeling the effects of competition on seaport terminal awarding. *Transport Policy*, 35, 341–349. DOI: 10.1016/j.tranpol.2014.04.007
16. Zhuang, W., Luo, M. & Fu, X. (2014). A game theory analysis of port specialization-implications to the Chinese port industry. *Maritime Policy & Management*, 41(3), 268–287. DOI: 10.1080/03088839.2013.839517.
17. Saeed, N. (2013). Cooperation among freight forwarders: Mode choice and intermodal freight transport. *Research in Transportation Economics*, 42(1), 77–86. DOI: 10.1016/j.retrec.2012.11.005.
18. Pan, S., Trentesaux, D., Ballot, E. & Huang, G. Q. (2019). Horizontal collaborative transport: survey of solutions and practical implementation issues. *International Journal of Production Research*, 57(15–16), 5340–5361. DOI: 10.1080/00207543.2019.1574040
19. Hu, J. & Huang, Y. (2019). Genetic algorithm for the cargo shunting cooperation between two hub-and-spoke logistics networks. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 12(2), 356–372. DOI: 10.3926/jiem.2815
20. Ferrell, W., Ellis, K., Kaminsky, P. & Rainwater, C. (2019). Horizontal collaboration: opportunities for improved logistics planning. *International Journal of Production Research*, 58(2), 1–18. DOI: 10.1080/00207543.2019.1651457.
21. Karimli, N. T. (2017). Modelling of methods of system integration in transport service of the region. *Ekonomika i predprinimatelstvo [Journal of economy and entrepreneurship]*, 1, 334–339. (In Russ.)
22. Moskvichev, O. V. (2018). *Klientoorientirovannaya konteynernaya transportnaya Sistema [Customer-oriented container transport system]*. Moscow: VINITI RAS, 186. (In Russ.)
23. Moskvichev, O. V. (2017). Terminal infrastructure and container trains: object clustering. *Mir transporta [World of Transport and Transportation]*, 5(72), 158–173. (In Russ.)
24. Say, V. M. (2003). *Planetarnye struktury upravleniya na zheleznodorozhnom transporte [Railroad planetary control structures]*. Moscow: VINITI RAS, 345. (In Russ.)
25. Tsvetkov, V. A., Zoidov, K. Kh. & Medkov, A. A. (2017). Public-Private Partnership as the Core Form of the Implementation of Russia's Transport and Transit Potential. *Ekonomika regiona [Economy of region]*, 13(1), 1–12. DOI: 10.17059/2017–1-1 (In Russ.)
26. Tsyganov, V. V. & Savushkin, S. A. (2017). Terminal and Logistics Center as the Structure Management of Transport Networks. *Transport. Nauka, tekhnika, upravlenie [Transport: Science, Equipment, Management]*, 1, 13–18. (In Russ.)
27. Goryaev, N. K. (2010). *Teoriya i praktika transportnoy internet-birzhi [Theory and Practice of the Transport Internet Exchange]*. Chelyabinsk: SUSU, 101. (In Russ.)
28. Little, J. D. C. (1961). A Proof for the Queuing Formula: $L = \lambda W$. *Operations Research*, 9(3), 383–387. DOI: 10.1287/opre.9.3.383

Информация об авторах

Кочнева Дарья Ивановна — кандидат технических наук, доцент, Уральский государственный университет путей сообщения; Researcher ID: M-1368–2017, <https://orcid.org/0000-0001-7991-1277> (Российская Федерация, 620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66; e-mail: dana_rich@mail.ru).

Сай Василий Михайлович — доктор технических наук, профессор, Уральский государственный университет путей сообщения; Researcher ID: A-7414–2017, <https://orcid.org/0000-0003-1061-2855> (Российская Федерация, 620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66; e-mail: VSay@usurt.ru).

About the authors

Daria I. Kochneva — Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Ural State University of Railway Transport; Researcher ID: M-1368–2017; <https://orcid.org/0000-0001-7991-1277> (66, Kolmogorova St., Ekaterinburg, 620034, Russian Federation; e-mail: dana_rich@mail.ru).

Vasiliy M. Say — Dr. Sci. (Eng.), Professor, Ural State University of Railway Transport; Researcher ID: A-7414–2017; <https://orcid.org/0000-0003-1061-2855> (66, Kolmogorova St., Ekaterinburg, 620034, Russian Federation; e-mail: VSay@usurt.ru).

Дата поступления рукописи: 05.02.2020.

Прошла рецензирование: 22.06.2020.

Принято решение о публикации: 24.09.2021.

Received: 05 Feb 2020.

Reviewed: 22 Jun 2020.

Accepted: 24 Sep 2021.