

Моделирование оценки потребности региона в контейнерных перевозках



Василий САЙ
Vasily M. SAY

Дарья КОЧНЕВА
Daria I. KOCHNEVA



Сай Василий Михайлович – доктор технических наук, профессор кафедры пути и железнодорожного строительства Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург, Россия.
Кочнева Дарья Ивановна – кандидат технических наук, доцент кафедры мировой экономики и логистики Уральского государственного университета путей сообщения (УрГУПС), Екатеринбург, Россия.

Modeling of Assessment of a Region's Need for Container Transportation

(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 171)

Статья посвящена разработке модели обоснования потребности региона в контейнеризации грузовых перевозок. Модель включает два взаимосвязанных элемента: методику обоснования контейнеропригодности грузов региона и имитационный алгоритм планирования потребности региона в контейнеризации. Планирование потребности в контейнеризации увязывает спрос предприятий на перевозки (с учётом уровней контейнеропригодности продукции) и имеющиеся ресурсы контейнерной транспортной системы (терминалы, контейнерный парк, подвижной состав). Дальнейшее развитие модели предполагает оценку затрат и выгод региона от развития контейнерной системы. Верификация имитационной модели на примере Свердловской области демонстрирует её работоспособность и адекватность действительности.

Ключевые слова: контейнерные перевозки, контейнеризация, контейнеропригодность груза, социально-экономическая система региона, развитие региона, потребность, ресурсы, имитационная модель, организация взаимодействия.

На сегодняшний день уровень контейнеризации сухих грузов в мире по некоторым оценкам превышает 70% [1–2]. В России этот показатель составляет лишь 5,3%, однако растёт быстрыми темпами – за последнее десятилетие коэффициент контейнеризации на сети отечественных железных дорог вырос вдвое¹.

Подчеркнём: ныне контейнеризация затрагивает не только перевозки так называемых контейнеропригодных грузов. В контейнерах перевозится широкая номенклатура сырьевой продукции, в том числе наливные и навалочные грузы, металлы, сжиженный газ. Это привело к значительному росту потребности в контейнерной инфраструктуре в регионах и поспособствовало быстрому становлению контейнерного рынка.

Вместе с тем при отсутствии согласованных программ развития контейнерной инфраструктуры формирование рынка происходит стихийно. Каждая компания преследует лишь собственные экономиче-

¹ Отчёт ПАО «ТрансКонтейнер» за 2016 год. [Электронный ресурс]: <https://www.trcont.ru/>. Доступ 01.02.2018.

ские интересы, что зачастую приводит к дисбалансу развития терминальных мощностей в регионе, возникновению нерациональных порожних контейнеропотоков и снижению эффективности функционирования региональной контейнерной системы в целом.

Это в свою очередь негативно влияет на развитие тех отраслей экономики региона, которые являются потребителями услуг контейнерной транспортной системы.

То есть с очевидностью наблюдаются факты, когда возникает необходимость в методологии оценки потребности региона в контейнерных перевозках с учётом интересов транспортных компаний и местного бизнеса, территориальных экономических и социальных особенностей, неравномерности грузопотоков и других ограничений.

СУЩЕСТВУЮЩИЕ ПОДХОДЫ

Работы, посвящённые моделированию контейнерных перевозок, можно разделить на две группы. Первая – исследования, касающиеся отдельных звеньев контейнерной системы: терминалов, сухих и морских портов, контейнерного транспорта. Для них, например, используют регрессионные модели [3], методы иерархического моделирования [4], «муравьиный» алгоритм оптимизации (ant colony optimization) [5], дискретно-событийное моделирование [6], стохастическое и динамическое программирование [7], линейное программирование [8], многокритериальную оптимизацию [9–10] и т.д.

Вторая условная группа исследований относится к организации взаимодействия звеньев контейнерной транспортной системы в условиях рынка, в этой области применяют кластерный анализ [11], модели теории игр [12–13], концепции управления цепями поставок [14–15], агентное имитационное моделирование [16–17] и др.

В основу обозначенных моделей и подходов заложены в первую очередь интересы отдельных компаний, тогда как интересы региональной контейнерной системы в целом остаются на втором плане. Однако более важной для анализа контейнеризации региона является тема контейнеропригодности продукции.

В научных источниках представлены различные подходы к классификации гру-

за на контейнеропригодные и контейнеро-непригодные виды. Так, в [18] обозначено, что контейнеропригодной является продукция, технические параметры и физико-химические свойства которой позволяют использовать контейнер. То есть в данном случае превалируют технические критерии классификации.

В ряде источников, например в [19], контейнеропригодным называют груз, перевозка которого в контейнере экономически целесообразна, то есть тогда контейнеро-непригодным может считаться и груз, перевозка которого технически возможна в контейнере, но экономически не оправдана.

Помимо этого, в научной литературе представлены некоторые подходы к количественной оценке контейнеропригодности. Особого внимания заслуживают работы [20, 21]. Авторы предлагают оценивать степень контейнеропригодности продукции по шкале от 0 до 1, исходя из трёх критериев: технологического, транспортно-логистического, экономического. По технологическому критерию оценивают возможность перевозки груза в стандартном контейнере без дополнительных затрат на оборудование; транспортно-логистический критерий учитывает эффективность операций перевалки в случае контейнерной перевозки по сравнению с другими видами транспортировки; экономисты степень контейнеропригодности предпочитают определять сравнением тарифов на перевозку в контейнерах и без них.

Таким образом, методика [19] видится одной из немногих попыток количественного обоснования контейнеропригодности. Основным недостатком её остаётся, однако, необходимость учёта большого количества параметров, требующих постоянной актуализации. Кроме того, не учитывается возможность использования специализированных контейнеров, которые позволяют значительно расширить номенклатуру грузов.

ОБОСНОВАНИЕ КОНТЕЙНЕРОПРИГОДНОСТИ

Величина контейнерного потока главным образом ограничивается объёмом контейнеропригодного груза в регионе как по погрузке, так и по выгрузке. В связи





Рис. 1. Матрица контейнерпригодности грузов.

с развитием специализированных контейнеров номенклатура пригодных грузов существенно расширилась. Поэтому контейнерпригодность груза следует оценивать во взаимосвязи с типом контейнера. Согласно принятой в международной практике классификации [22], все контейнеры по назначению делят на универсальные и специализированные. Универсальные в свою очередь подразделяют на стандартные и контейнеры особого назначения (с открытым верхом, контейнеры-платформы и др.). К специализированным относят танк-контейнеры, балк-контейнеры, рефрижераторные контейнеры и т.п.

Для оценки и прогнозирования потенциала контейнеризации в регионе с учётом обозначенных подходов [18–21] предложена следующая методика определения контейнерпригодных грузов.

Все виды перевозимой продукции дифференцируем по двум критериям контейнерпригодности: техническая возможность погрузки груза в определённый контейнер и экономическая эффективность перевозки. Экономическую эффективность будем оценивать с точки зрения показателя использования грузом вместимости контейнера, так как этот показатель

определяет потребность в контейнерном парке и прямо влияет на транспортные затраты.

Степень заполнения грузом объёма контейнера определяется через удельный погрузочный объём (УПО, м³/т). Если удельный погрузочный объём превышает удельную грузовместимость контейнера (УГК, м³/т), это свидетельствует о возможности полного использования вместимости. В противном случае речь идёт о тяжеловесном грузе, перевозка которого в стандартном контейнере имеет меньшую экономическую эффективность.

Предложено выделять четыре уровня контейнерпригодности продукции.

I уровень – абсолютно контейнерпригодная продукция, это грузы, удобные для перевозки в стандартных контейнерах с высокой экономической эффективностью. Их удельный погрузочный объём превышает удельную грузоподъёмность стандартного контейнера. В эту группу отнесём различные легковесные тарно-штучные грузы.

II уровень – грузы, пригодные для погрузки в стандартные контейнеры, но не обеспечивающие полного использования грузом вместимости контейнера, что делает их перевозку менее эффективной. Ис-

пользование стандартных контейнеров для таких грузов оправдано при наличии в регионе избыточных порожних контейнеров, ожидающих обратной загрузки. В противном случае для грузов этого типа экономически выгоднее использование контейнеров особого назначения (типа Flat Track (контейнер-платформа) или Open Top (контейнер без верха)). К этой категории отнесём различные генеральные тяжеловесные грузы, например, металлы, тяжеловесные станки и оборудование.

III уровень — грузы, пригодные для перевозки в специализированных контейнерах с высокой экономической эффективностью. Сюда входят различные лёгкие насыпные грузы (например, зерно), удобные для перевозки в балк-контейнерах, и наливные грузы, которые можно перевозить в танк-контейнерах.

IV уровень — контейнероупрягодная продукция. Это грузы, перевозка которых в контейнерах технически затруднена и экономически не оправдана. В том числе тяжёлые навалочные грузы (например, цемент, руда, каменный уголь).

Для наглядности классификации грузов по обозначенным критериям составлена матрица контейнероупрягодности (рис. 1).

Предложенная типология продукции по уровню контейнероупрягодности позволяет максимально просто и однозначно классифицировать все грузы региона и оценить потенциалы контейнеризации для местных условий. Методика может быть детализирована и расширена.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ФОРМАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ

Уровень контейнеризации грузопотока принято оценивать через коэффициент контейнеризации, который в самом общем виде записывается как:

$$k_{cont} = \frac{Q_{cont}}{Q_{total}}, \quad (1)$$

где Q_{total} — общий объём перевозок грузов региона, т; Q_{cont} — объём перевозок грузов региона в контейнерах, т.

Помимо количества контейнероупрягодных грузов объём перевозок в регионе ограничивается степенью развития контейнерной инфраструктуры. Тогда коэффици-

ент контейнеризации запишем как функционал:

$$k_{кп} = F(Q_{total}, q, A, H, P, d), \quad (2)$$

где q — количество контейнероупрягодных грузов в регионе; A — доступный контейнерный парк; H — пропускная способность терминальной сети; P — доступный парк подвижного состава для перевозки контейнеров; d — другие ограничения контейнерного потока.

Обозначенные параметры неустойчивы во времени, подвержены случайным изменениям и влиянию внешних факторов. Потому для обоснования уровня контейнеризации региона, а также обоснования интервалов изменения факторов, влияющих на него, необходимо создание имитационной модели, позволяющей многократное проигрывание производственных сценариев, отражающих процесс использования контейнерной системы в регионе.

На рис. 2 приведена блок-схема оценки потребности региона в развитии контейнерной системы.

Формализуем этапы приведённого алгоритма.

На первом этапе следует определить общую величину грузопотока, генерируемого регионом.

Пусть Q_t — величина грузопотока, генерируемого регионом за период времени t как сумма N видов грузов q_{it} .

Величина грузопотока q_{it} характеризуется массой, направлением, показателем удельного погрузочного объёма и характеристиками погрузки, то есть каждый исходящий грузопоток можем записать как вектор (кортеж):

$$Q_t = \sum_{i=1}^N \overline{q_{it}}(w, l, u, g), \quad (3)$$

где w — масса грузопотока, т; l — направление отправки грузопотока, принимает значения от 1 до L ; учёт этого параметра помогает рациональному планированию загрузки попутных контейнеров;

u — удельный погрузочный объём груза, м³/т; параметр нужен для определения рационального типа контейнера и расчёта потребного числа контейнеров;

g — характеристика способа погрузки груза; в рамках методики будем выделять две характеристики: $g = 1$, если груз предполагает стандартный контейнер без до-





Рис. 2. Алгоритм обоснования потребности региона в развитии системы контейнерных перевозок.

полнительных затрат, $g = 0$, в противном случае.

На втором этапе выделим в общем объёме перевозок контейнерпригодные грузы. В соответствии с предложенной методикой введём обозначения: пусть $q_t^I, q_t^{II}, q_t^{III}, q_t^{IV}$ – грузы I–IV уровней контейнерпригодности, генерируемые в регионе за период t . Тогда общая величина грузопотока региона:

$$Q_t = \sum_{i=1}^N \overline{q_{it}} = q_t^I + q_t^{II} + q_t^{III} + q_t^{IV}. \quad (4)$$

При формировании имитационной модели будем учитывать, что спрос на контейнерную перевозку грузов \overline{Q}_t , неудовлетворённый в период t , может быть отложен для реализации в момент времени $t + 1$. При этом в условиях конкуренции на рынке транспортных услуг с вероятностью

p груз может быть вывезен другим видом транспорта. Величина вероятности p зависит от специфики рынка в регионе, а также величины принятого модельного времени t . Таким образом, величина спроса на контейнерную перевозку в тоннах в момент времени t : $\overline{Q}_t + \Delta \overline{Q}_{t-1} \cdot (1 - p)$, где $\Delta \overline{Q}_{t-1}$ – отложенный спрос, p – вероятность переключения грузопотока на альтернативный вид транспорта.

Следующий третий этап – оценка общей потребности в ресурсах (контейнерах, терминалах, подвижном составе) для удовлетворения спроса региона на контейнерные перевозки. Учитывая существование разных типоразмеров контейнеров (20- и 40-футовых), в качестве единиц измерения контейнерного потока и перерабатывающей способности термини-

налов примем двадцатифутовый эквивалент (ДФЭ).

Пусть D_{ct} – потребность региона в контейнерах в момент времени t , выраженная в ДФЭ. Учитывая возможность использования разных типов контейнеров:

$$D_{ct} = D_{dct} + D_{sdct} + D_{sct}, \quad (5)$$

где D_{dct} – потребность региона в стандартных контейнерах (dry cube), ДФЭ;

D_{sdct} – потребность региона в стандартных контейнерах особого назначения (special dry cube), ДФЭ;

D_{sct} – потребность региона в специализированных контейнерах (specific cube), ДФЭ.

Для удовлетворения спроса на контейнерную перевозку грузов I уровня контейнеропригодности потребуются стандартные контейнеры в количестве:

$$D_{dc t}^I = \frac{\sum_{i=1}^N ((w_{it} + \Delta w_{it-1}(1-p)) \cdot u_i)^I}{R_{dc}}, \quad (6)$$

где w_{it}^I – весовая характеристика i -го груза I уровня контейнеропригодности, т;

u_i^I – удельный погрузочный объём i -го груза I уровня контейнеропригодности, $M^3/т$;

R_{dc} – грузоподъемность стандартного контейнера, M^3 .

Для удовлетворения спроса на контейнерную перевозку грузов II уровня контейнеропригодности потребуются универсальные стандартные контейнеры (ДФЭ) в количестве:

$$D_{dc t}^{II} = \frac{\sum_{i=1}^N (w_{it} + \Delta w_{it-1}(1-p))^{II}}{W_{dc}}, \quad (7)$$

либо универсальные контейнеры особого назначения (Flat Track или Open Top):

$$D_{sdct}^{II} = \frac{\sum_{i=1}^N (w_{it} + \Delta w_{it-1}(1-p))^{II}}{W_{sdct}}, \quad (8)$$

где W_{dc} , W_{sdct} – грузоподъемность универсального стандартного контейнера и универсального контейнера особого назначения, т.

Выбор типа контейнера для этой категории грузов обусловлен наличием избыточного контейнерного парка в регионе и будет рассмотрен на следующих этапах.

Для удовлетворения спроса на контейнерную перевозку грузов III уровня контейнеропригодности требуются специализированные контейнеры разновидности v (Tank Container, Bulk Container, Ref Container) в количестве:

$$D_{sc t}^{III}(v) = \frac{\sum_{i=1}^N ((w_{it} + \Delta w_{it-1}(1-p)) \cdot u_i)^{III}}{R_{sc}(v)}, \quad (9)$$

где $R_{sc}(v)$ – грузоподъемность специализированного контейнера разновидности v , M^3 .

Потребность в терминальной инфраструктуре и фитинговых платформах выразим через установленную потребность в контейнерном парке. То есть для грузопереработки расчетного контейнеропотока будут нужны терминалы, имеющие суммарную перерабатывающую способность за период t (ДФЭ):

$$D_{ht} = D_{ct}. \quad (10)$$

Для удовлетворения заданного спроса на контейнерную перевозку грузов I–III уровня контейнеропригодности в момент времени t требуются фитинговые платформы в количестве:

$$D_{pt} = \frac{D_{ct}}{k}, \quad (11)$$

где k – параметр, определяющий вместимость фитинговой платформы; для 40-футовых платформ $k = 2$, для 60-футовых $k = 3$, для 80-футовых $k = 4$.

На четвертом этапе оценим ресурсы региона для удовлетворения заданной потребности.

Пусть A_t – контейнеры, имеющиеся на момент времени t после их выгрузки в регионе, в том числе:

$A_{dc t}$ – количество универсальных стандартных контейнеров в регионе на момент времени t , ДФЭ;

$A_{sdct}(v)_t$ – количество универсальных контейнеров особого назначения разновидности v в регионе на момент времени t , ДФЭ;

$A_{sc}(v)_t$ – количество специализированных контейнеров разновидности v в регионе на момент времени t .

При этом для каждого типа контейнера следует выделить характеристику направления отправки. Часть контейнеров, предназначенных для погрузки, может быть отправлена в любом направлении. Это касается парка, принадлежащего крупным компани-



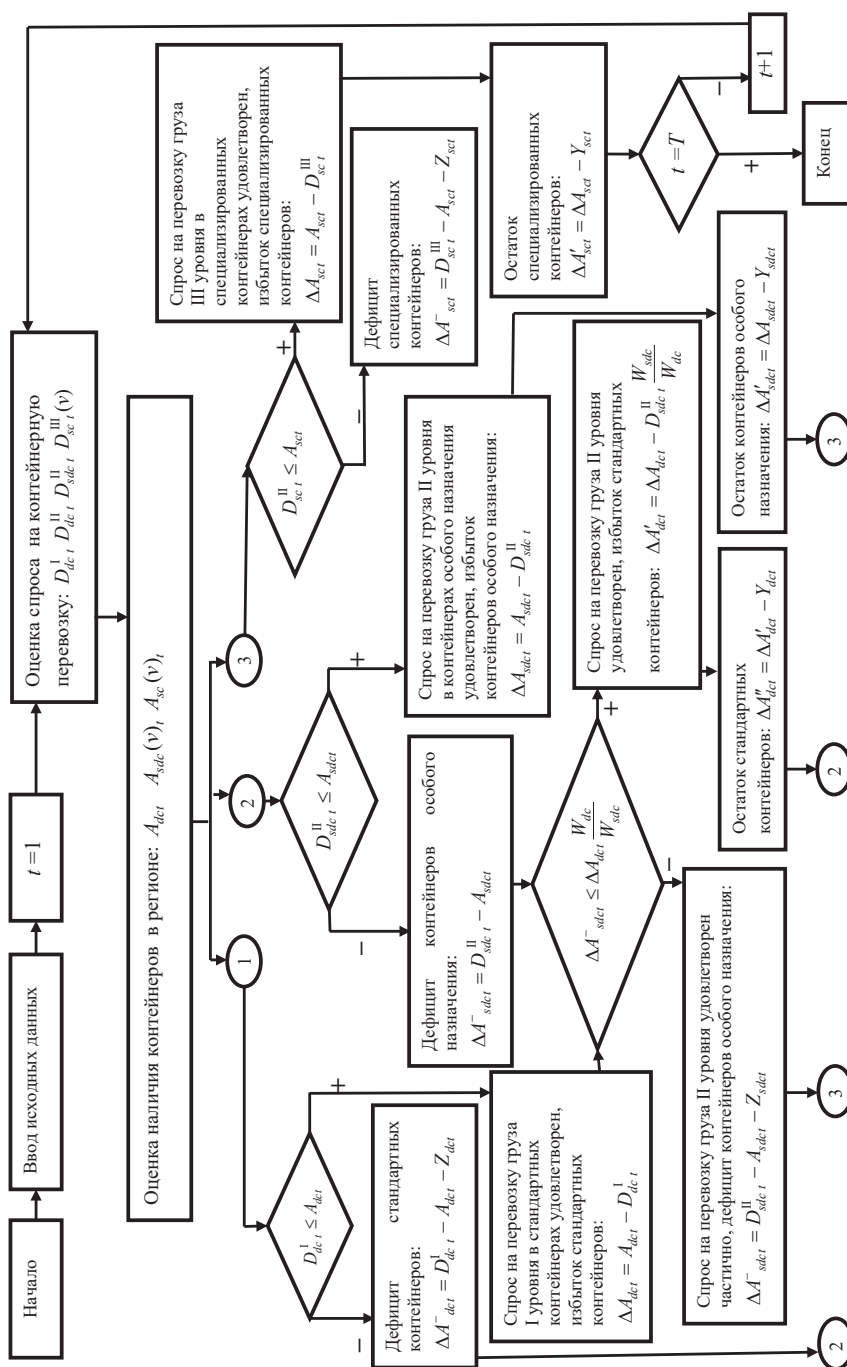


Рис. 3. Алгоритм имитации удовлетворения потребности региона в контейнерах.

ям, имеющим развитую терминальную сеть (например, ПАО «ТрансКонтейнер»). Будем называть такие контейнеры «свободные» (A_t^{fr}). Также в регионе могут находиться контейнеры, которые после выгрузки следует вернуть собственнику в направлении l . Это, как правило, касается импортных контейнеров и контейнеров международных

судоходных компаний. Договоримся называть такие контейнеры «возвратные» (A_t^{rv}).

С учётом контейнеров, освободившихся после выгрузки в момент времени t , и остатка невостребованных контейнеров ΔA с периода $t - 1$ выражение для определения в модели наличия парка контейнеров в регионе примет вид:

$$\begin{aligned}
A_t = & (A_{DCt} + A_{SDC}(v)_t + A_{SC}(v)_t)_{fr} + \\
& + (\Delta A_{DCt-1} + \Delta A_{SDC}(v)_{t-1} + \\
& + \Delta A_{SC}(v)_{t-1})_{fr} + \\
& + (A_{DCt} + A_{SDC}(v)_t + A_{SC}(v)_t)_{rev l} + \\
& + (\Delta A_{DCt-1} + \Delta A_{SDC}(v)_{t-1} + \Delta A_{SC}(v)_{t-1})_{rev l}.
\end{aligned} \quad (12)$$

Аналогично формализуем наличие в регионе платформ для перевозки контейнеров (ДФЭ): $P_t = P_t + \Delta P_{t-1}$.

Представим пропускную способность терминальной сети региона за период t (H_t) как сумму пропускной способности M терминалов. Оценка потребности региона в терминальном ресурсе осуществляется с учётом величины входящего потока, который терминальная система принимает:

$$H_t = \sum_{j=1}^M (H_{jt} - B_{jt}), \quad (13)$$

где H_{jt} – перерабатывающая способность j -го терминала за период t , ДФЭ; B_{jt} – величина входящего контейнеропотока j -го терминала за период t , ДФЭ.

На пятом этапе для оценки дефицита или избытка ресурсов сопоставим оценку общей потребности в контейнерных перевозках (этап 3) с ресурсными ограничениями контейнерной системы (этап 4).

Максимальный объём контейнерных перевозок, который может обеспечить система, будет определяться наименьшим значением из ресурсных возможностей и имеющегося спроса, т.е.:

$$Q_{cont} = \min(D_{ct}, A_t, P_t, H_t). \quad (14)$$

В случае если $Q_{cont} = D_t$ в течение заданного периода времени, то спрос в контейнерных перевозках удовлетворён полностью, контейнерная система способна обеспечить вывоз контейнеропригодной продукции всех уровней. В противном случае требуется либо создание резерва (в рамках имеющихся возможностей), либо вложение средств в развитие того или иного ресурса.

Величина потребности в резервировании или развитии дефицитного ресурса определяется разностью между спросом на определённый ресурс и его наличием.

Учитывая вариативность видов контейнеров, с помощью которых может быть удовлетворена потребность, предлагаем следующий алгоритм оценки дефицита или избытка в контейнерах в регионе:

- оценивается удовлетворение потребности в стандартных контейнерах, контейнерах особого назначения, специализированных контейнерах, то есть для каждого типа контейнера проверяется условие:

$$D_{ct} \leq A_t, \quad (15)$$

в случае если наличие контейнеров в регионе превышает спрос на них, возникает избыток, в противном случае – дефицит;

- при дефиците контейнеров особого назначения и избытке стандартных контейнеров оценивается возможность удовлетворения потребности в перевозке грузов II типа контейнеропригодности стандартными контейнерами;

- оценивается дефицит или избыток каждого типа контейнера в регионе на момент времени t ,

в случае избытка контейнеров:

$$\Delta A_t = A_t - D_{ct} - Y_t; \quad (16)$$

в случае дефицита контейнеров:

$$\Delta A_t^- = D_t - A_t - Z_t, \quad (17)$$

где Y_t – отток порожнего контейнеропотока из региона; Z_t – приток порожнего контейнеропотока в регион; при этом Y_t и Z_t – переменные величины, величина которых обосновывается в процессе проигрывания модели.

Неудовлетворённый в момент времени t спрос или избыток контейнеров переносится на следующий этап расчёта.

Расчёт повторяется итеративно от t до T для отображения процессов накопления избыточных контейнеров в регионе и/или неудовлетворённого спроса на контейнерные перевозки.

Алгоритм расчёта представлен на рис. 3.

Представленный алгоритм позволяет имитировать процесс удовлетворения потребности в контейнерах в регионе, оценить дефицит и/или избыток контейнеров определённого типа и, в результате проигрывания модели, обосновать величину порожнего контейнеропотока и уровень резервирования контейнерного парка.

Предложенная имитационная модель содержит следующие допущения:

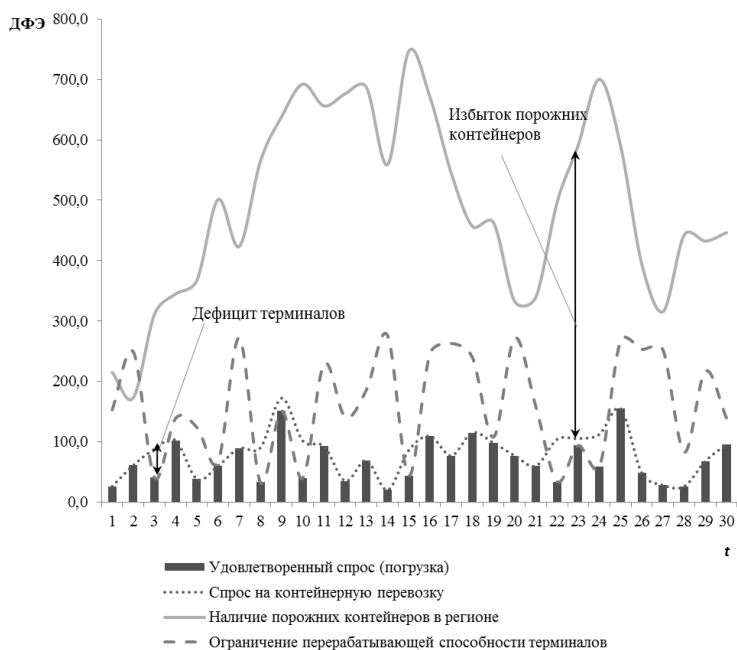
- игнорируется возможность использования стандартных контейнеров для перевозки режимных грузов с использованием специального оборудования (например, «флекси-танк» для перевозки наливного груза в стандартном контейнере);



**Исходные данные имитационной модели удовлетворения потребности региона
в контейнерных перевозках**

Параметр	Величина
Входящий грузёный контейнеропоток, ДФЭ / сут.	$B_{jt} = 213 + 42R^1$
Спрос предприятий региона на контейнерную перевозку, ДФЭ / сут.	$D_{dc t} = 67 + 16R$
Входящий порожний контейнеропоток, ДФЭ / сут.	$Z_t = 6 + 1,5R$
Исходящий порожний контейнеропоток, ДФЭ / сут.	$Y_t = 135 + 12R$
Совокупная ёмкость контейнерных площадок, ДФЭ	$E = 8500$
Перерабатывающая способность терминалов, ДФЭ / сут.	$H_t = 1013$
Резерв пропускной способности терминалов для обеспечения работ по заводу/вывозу и сортировке контейнеров	0,5

Рис. 4. Результат расчётов на модели удовлетворения потребности региона в контейнерных перевозках, $t = \{1, 2, \dots, 30\}$, $N = 1$.



• игнорируется приоритетность загрузки контейнеров разных собственников на различных терминалах.

Аналогичным образом формируется модель оценки потребности в терминальной инфраструктуре региона, при этом в случае дефицита терминальных мощностей анализируются варианты совершенствования организации работ на терминале и расширения терминальной сети, что является задачей отдельных научных исследований и частично рассмотрено в [23–24]. Причём такое развитие событий может потребовать существенных инвестиций.

На шестом этапе алгоритма следует сопоставить затраты и выгоды от развития контейнеризации, это позволит обосновать тот её уровень, который обеспечит наибольший экономический эффект для региона

и для компаний, формирующих региональную контейнерную систему. Модель оценки воздействия контейнеризации на экономику региона приведена в работе [25].

ВЕРИФИКАЦИЯ МОДЕЛИ

Для верификации имитационной модели зададим исходные данные на основе информации о функционировании терминальных операторов Свердловской области² и величины контейнеропотоков, полученных в работе [24], с учётом экстраполяции на текущий период (таблица 1).

Результат расчёта на модели приведён на рис. 4. Для апробации алгоритма примем, что терминальная система региона обраба-

² Уральская логистическая ассоциация. Официальный сайт. [Электронный ресурс]: <http://noula.ru/>. Доступ 01.02.2018).

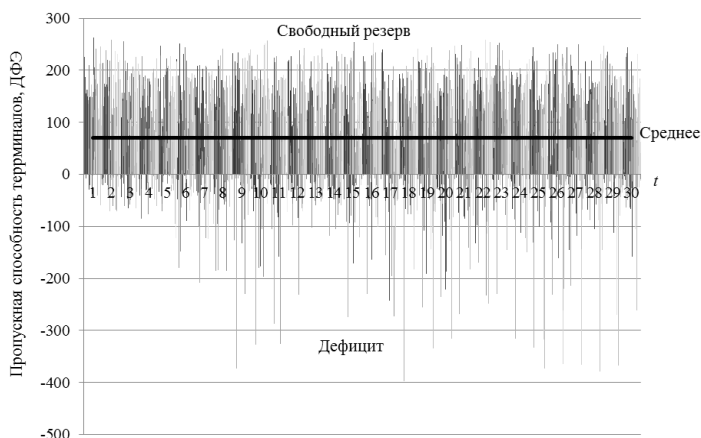


Рис. 5. Эксперименты по определению спроса на терминальный ресурс контейнерной системы, $t = \{1, 2, \dots, 30\}$, $N = 100$.

тывает только стандартные контейнеры и имеет три ресурсных ограничения: перерабатывающая способность терминалов, ёмкость контейнерных площадок, наличие порожних контейнеров в регионе.

На рис. 4 видно, что величина удовлетворённого спроса на контейнерную перевозку не превышает предъявленного спроса или ресурсного ограничения контейнерной системы, это соответствует реальным представлениям о её функционировании.

Результат апробации модели показал, что при заданных исходных параметрах в регионе преобладает избыток порожних контейнеров (что оправдано превышением выгрузки над погрузкой) и возникает периодический дефицит терминальной инфраструктуры, который проявляется в момент случайных всплесков величины перерабатываемого контейнеропотока. Чтобы оценить средний уровень этого дефицита, проведём N испытаний модели (рис. 5).

Эксперимент показал, что при заданных исходных параметрах средний свободный резерв (избыток) перерабатывающей способности терминалов региона составит 69 ДФЭ. При этом с вероятностью надёжности вывода 95% можем утверждать, что дефицит терминальных мощностей не превысит 132 ДФЭ, а избыток — 271 ДФЭ. То есть правомерен вывод, что для рассматриваемого региона существует потребность в развитии терминальной инфраструктуры для повышения её пропускной способности на 132 ДФЭ в сутки, это позволит устранить сбои в работе системы в пиковые периоды. Кроме того, можно констатировать, что увели-

чение спроса на контейнерные перевозки в среднем на 69 ДФЭ в сутки (при постоянных прочих параметрах) приведёт к истощению свободного терминального ресурса.

ВЫВОД

Демонстрируемый методологический подход к оценке потребности региона в развитии контейнерных перевозок включает три взаимосвязанные методики: методику классификации контейнеропригодной продукции, имитационный алгоритм обоснования потребности региона в контейнерных ресурсах, методику оценки воздействия контейнеризации на экономику региона.

Методика классификации контейнеропригодной продукции выделяет четыре уровня контейнеропригодности в зависимости от двух критериев: технической возможности погрузки груза в определённый контейнер и экономической эффективности перевозки того или иного груза в контейнере. Предложенная методика позволяет максимально просто и однозначно дифференцировать все грузы региона и оценить потенциалы контейнеризации.

Имитационная модель оценки потребности региона в контейнерных ресурсах (контейнерном парке, терминалах, подвижном составе) увязывает потребность в перевозках (с учётом уровней контейнеропригодной продукции) и имеющиеся ресурсы для обеспечения предъявленного спроса. Предложенный алгоритм помогает решать следующие задачи:

- оценивать необходимость в резервировании различных ресурсов региона для



удовлетворения общего спроса на контейнерные перевозки;

- планировать величину отправки избыточных или заказа дефицитных порожних контейнеров и подвижного состава;
- прогнозировать потребность в развитии ресурсов для удовлетворения будущего спроса.

Методика оценки воздействия контейнеризации на экономику региона позволяет обосновать необходимый уровень развития ресурсов контейнерной системы, который обеспечит её участникам наибольший экономический эффект.

Верификация модели демонстрирует её работоспособность и адекватность действительности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Voşneagu R., Coca C. E., Sorescu F. Sea Global Containerized Trade. Present and Future // EIRP Proceedings. – 2015. – № 10. – pp. 360–368.
2. Wägener N. Intermodal transport in Europe – opportunities through innovation // LogForum. – 2014. – № 10. – pp. 371–382.
3. Chou Ch., Chu Ch., Liang G. A modified regression model for forecasting the volumes of Taiwan's import containers // Mathematical and Computer Modelling. – 2008. – Vol. 47. – Iss. 9–10. – pp. 797–807. DOI: 10.1016/j.mcm.2007.05.005.
4. Rozmarynowska M., Smolarek L. Hierarchical Model of Container Ports Throughput // International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. – 2015. – № 4. – pp. 461–466. DOI: 10.12716/1001.09.04.01.
5. Wang L., Zhu X. Rail mounted gantry crane scheduling optimization in railway container terminal based on hybrid handling mode // Computational Intelligence and Neuroscience. 2014. [Электронный ресурс]: <https://www.hindawi.com/journals/cin/2014/682486/>. Доступ 29.06.2018. DOI: 10.1155/2014/682486.
6. Янченко А. А., Маликова Т. Е., Вольнов И. Н. Разработка модели исследования влияния зонирования контейнерного терминала на эффективность его работы // Вестник Государственного университета морского и речного флота им. адм. С. О. Макарова. – 2017. – № 4. – С. 704–713. DOI: 10.21821/2309–5180–2017–9–4–704–713.
7. Паршина Р. Н. Методология организации трансисибирских международных контейнерных перевозок Европа–Азия транзитом по России / Дис... док. техн. наук. – Москва, 2013. – 455 с.
8. Kos S, Zenzerović Z. Model of Optimal Cargo Transport Structure by Full Container Ship on Predefined Sailing Route // Promet – Traffic – Traffico. – 2007. – № 16. – pp. 15–20. DOI: 10.7307/ptt.v16i1.568.
9. Twrdy E., Beskovnik V. Productivity simulation model for optimization of maritime container terminals // Transport Problems. – 2009. – № 4. – pp. 113–122.
10. Tan C., He J. Integrated Yard Space Allocation and Yard Crane Deployment Problem in Resource-Limited

Container Terminals // Scientific Programming. 2016. [Электронный ресурс]: <https://www.hindawi.com/journals/sp/2016/6421943/>. Доступ 29.06.2018. DOI: 10.1155/2016/6421943.

11. Резер С. М., Москвичев О. В., Москвичева Е. Е. Оптимизация модели формирования и функционирования контейнерно-транспортной системы страны // Транспорт: наука, техника, управление. – 2016. – № 7. – С. 3–7.

12. Chen X., Zhu X, Zhou O, Wong Y. D. Game-Theoretic Comparison Approach for Intercontinental Container Transportation: A Case between China and Europe with the B&R Initiative // Journal of Advanced Transportation. 2017. [Электронный ресурс]: <https://www.hindawi.com/journals/jat/2017/3128372/>. Доступ 29.06.2018. DOI: 10.1155/2017/3128372.

13. Li S., Zhang W., Tang L. Grey Game Model for Energy Conservation Strategies // Journal of Applied Mathematics. 2014. [Электронный ресурс]: <https://www.hindawi.com/journals/jam/2014/765805/>. Доступ 29.06.2018. DOI: 10.1155/2014/765805.

14. Belbo H., Talbot B. Systems Analysis of Ten Supply Chains for Whole Tree Chips // Forests. – 2014. – № 5. – pp. 2084–2105. DOI: 10.3390/f5092084.

15. Николашин В. М. Логистические принципы контейнерных перевозок и оптимизации цепей поставок товаров // Транспорт: наука, техника, управление. – 2009. – № 1. – С. 28–30.

16. Intihar M., Kramberger T., Dragan D. Container Throughput Forecasting Using Dynamic Factor Analysis and ARIMAX Model // PROMET – Traffic & Transportation. – 2017. – № 5 (29). – pp. 529–542. DOI: 10.7307/ptt.v29i5.2334.

17. Рахмангулов А. Н., Муравьев Д. С. Оценка направлений развития систем «морской порт – «сухой» порт» методом имитационного моделирования // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2016. – № 3. – С. 54–72.

18. Hirschmann T. R. The containerized freight system as a means of production distribution: analysis and prospects. – N.Y.: Ithaca, 1970. – 234 p.

19. Wijffels R. H., Vrebois J. European transport law. – Antwerpen, Belgium: R. H. Wijffels, 1966. – 613 p.

20. Москвичев О. В., Никонов Ю. С. Оценка потенциала и перспективы развития контейнерной транспортной системы // Железнодорожный транспорт. – 2013. – № 4. – С. 37–39.

21. Никонов Ю. С. Методика определения контейнеропригодности продукции // Мир транспорта. – 2015. – № 3. – С. 184–190.

22. Monios J., Bergqvist R. Intermodal Freight Transport and Logistics. – Boca Raton, USA: CRC Press, 2017. – 280 p.

23. Сай В. М., Кочнева Д. И. Повышение эффективности работ на терминале // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2011. – № 4. – С. 52–57.

24. Кочнева Д. И. Повышение эффективности функционирования региональной контейнерной транспортно-логистической системы / Дис... канд. техн. наук. – Екатеринбург: УрГУПС, 2012. – 138 с.

25. Кочнева Д. И. Модель оценки влияния контейнерной транспортно-логистической системы на экономику региона // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. – 2017. – № 4. – С. 114–119. ●

Координаты авторов: **Сай В. М.** – VSay@usurt.ru, **Кочнева Д. И.** – dana_rich@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 28.06.2018, принята к публикации 29.08.2018.

MODELING OF ASSESSMENT OF A REGION'S NEED FOR CONTAINER TRANSPORTATION

Say, Vasily M., Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg, Russia.
Kochneva, Daria I., Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg, Russia.

ABSTRACT

The article is devoted to development of a model for substantiating a region's need for containerization of cargo transportation. The model includes two interrelated elements: a method for substantiating container suitability for cargoes and an imitation algorithm for planning of the region's need for containerization. The planning of the need for containerization links the demand of enterprises for

transportation (taking into account the levels of product container suitability) and the available resources of the container transport system (terminals, container fleet, rolling stock). Further development of the model assumes assessment of costs and benefits of the region from development of the container system. Verification of the simulation model at the example of Sverdlovsk region demonstrates its efficiency and adequacy of reality.

Keywords: container transportation, containerization, container suitability of cargo, social and economic system of the region, development of the region, resources, simulation model, organization of interaction.

Background. To date, the level of containerization of dry cargo in the world by some estimates exceeds 70% [1–2]. In Russia, this figure is only 5,3%, but it is growing at a rapid pace – over the past decade, the containerization coefficient on the network of domestic railways has doubled¹.

Let's stress: containerization now affects not only transportation of so-called container-suitable goods. Containers carry a wide range of raw materials, including bulk cargoes, metals, liquefied gas. This led to a significant increase in the demand for container infrastructure in the regions and contributed to rapid development of the container market.

At the same time, in the absence of coordinated programs for development of container infrastructure, market development takes place spontaneously. Each company pursues only its own economic interests, which often leads to an imbalance in development of terminal capacities in the region, emergence of irrational empty container flows and a decrease in efficiency of the regional container system as a whole.

This, in turn, negatively affects development of those sectors of the economy of the region that are consumers of services of the container transport system.

That is, there are obvious facts when there is a need for a methodology for assessing the region's demand for container transportation, taking into account the interests of transport companies and local businesses, territorial economic and social characteristics, uneven cargo flows and other restrictions.

Objective. The objective of the authors is to consider modeling of assessment of a region's need for container transportation.

Methods. The authors use general scientific and simulation methods, comparative analysis, mathematical methods, graph construction, modeling methods.

Results.

Existing approaches

Works devoted to modeling of container transportation can be divided into two groups. The first group summarizes research results related to individual links of the container system: terminals, dry and sea ports, container transport. For them, for example, regression models [3], methods of hierarchical modeling [4], «ant» optimization algorithm

(ant colony optimization) [5], discrete-event modeling [6], stochastic and dynamic programming [7], linear programming [8], multicriteria optimization [9–10], etc. are used.

The second conditional group of studies relates to organization of interaction of links of the container transport system under market conditions; in this area, cluster analysis [11], game theory models [12–13], supply chain management concept [14–15], agent simulation [16–17] and others are used.

Those models and approaches are based primarily on the interests of individual companies, while the interests of the regional container system as of a whole remain in the background. However, container suitability of products is more important for analysis of containerization of the region.

In scientific sources, various approaches to classification of cargo for container-suitable and container-unsuitable types are presented. Thus, in [18] it is indicated that a product is container-suitable, if its technical parameters and physico-chemical properties allow using a container. That is, in this case technical classification criteria prevail.

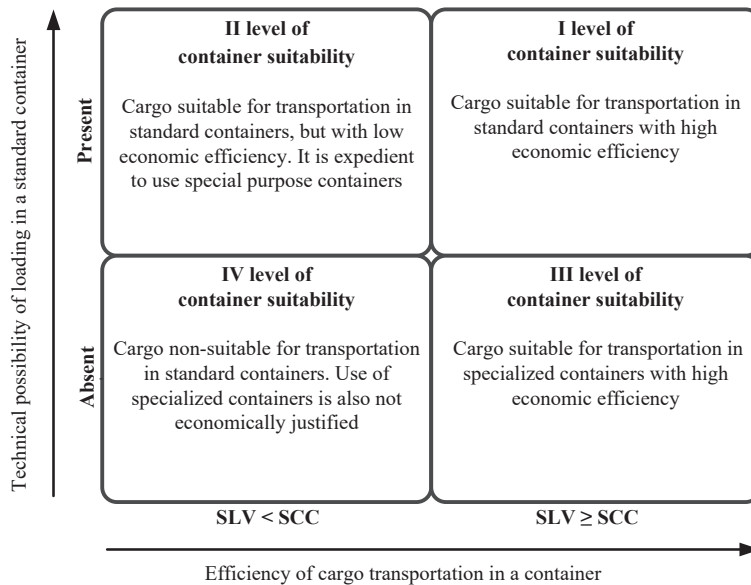
In a number of sources, for example in [19], a cargo is considered as container-suitable, if its transportation in a container is economically feasible, that is, a cargo, transportation of which is technically possible in a container, but is not economically justified, can be considered as container-unsuitable.

In addition, the scientific literature presents some approaches to quantification of container suitability. The papers [20, 21] are of particular interest. The authors propose to evaluate a degree of container suitability of products on a scale of 0 to 1 based on three criteria: technological, transport-logistics, and economic. According to the technological criterion, the possibility of cargo transportation in a standard container is estimated without additional costs for equipment; the transport-logistics criterion takes into account efficiency of transshipment operations in case of container transportation in comparison with other modes of transportation; economists prefer to determine a degree of container suitability by comparing tariffs for transportation in containers and without them.

Thus, the technique [19] is seen as one of few attempts to quantify validity of container suitability. Its main drawback, however, remains the need to take into account a large number of parameters that require constant updating. In addition, the possibility of using specialized containers that allow significantly expanding the range of goods is not taken into account.

¹ Report of PJSC TransContainer for 2016 [Electronic resource]: <https://www.trcont.ru/>. Last accessed 01.02.2018.





Pic. 1. Container suitability matrix of goods.

Substantiation of container suitability

The value of a container flow is mainly limited by the volume of container-suitable cargo in the region both for loading and unloading. In connection with development of specialized containers, the nomenclature of suitable cargo has significantly expanded. Therefore, container suitability for cargo should be evaluated in conjunction with a type of a container. According to the classification accepted in the international practices [22], all containers are divided into universal and specialized by purpose. Universal containers, in turn, are divided into standard and special purpose containers (open top, platform containers, etc.). Specialized containers include tank containers, bulk containers, refrigerated containers, etc.

To assess and predict the containerization potential in the region, taking into account the indicated approaches [18–21], the following procedure for determining container-suitable cargoes is proposed.

All types of transported products are differentiated according to two criteria of container suitability: technical possibility of loading cargo into a certain container and economic efficiency of transportation. We will evaluate economic efficiency from the point of view of the utilization rate of container capacity by cargo, since this indicator determines the need for container fleet and directly affects transport costs.

The degree of filling the container volume by cargo is determined through the specific loading volume (SLV, m³/t). If the specific loading volume exceeds the specific cargo capacity of the container (SCC, m³/t), this indicates the possibility of full utilization of capacity. Otherwise, it is a heavy cargo, transportation of which in a standard container has less economic efficiency.

It is proposed to distinguish four levels of container suitability of products.

I level – absolutely container-suitable products, these are cargoes, convenient for transportation in standard containers with high economic efficiency. Their specific loading volume exceeds the specific

cargo capacity of a standard container. We will classify various lightweight packed-piece goods as belonging to this group.

II level – goods suitable for loading into standard containers, but not ensuring the full use of container cargo capacity, which makes their transportation less efficient. The use of standard containers for such goods is justified if in the region there are redundant empty containers waiting to be loaded back. Otherwise, for goods of this type it is more economical to use special purpose containers (such as Flat Track (container-platform) or Open Top (container without top)). We will classify various general heavy loads, for example, metals, heavy machinery and equipment in this category.

III level – cargoes, suitable for transportation in specialized containers with high economic efficiency. This includes various light bulk cargoes (for example, grain), convenient for transportation in bulk containers, and bulk cargoes that can be transported in tank containers.

IV level – container-unsuitable products. They include cargoes, transportation of which in containers is technically difficult and economically unjustified. They include heavy bulk cargo (for example, cement, ore, coal).

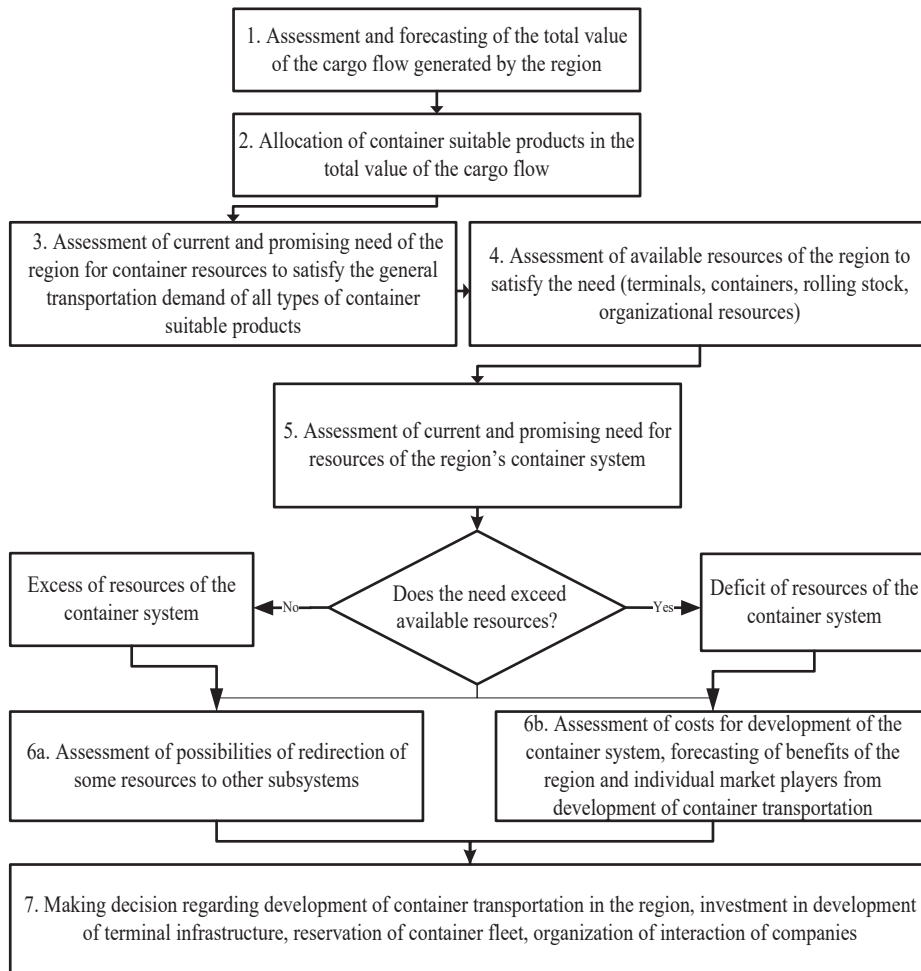
To illustrate classification of goods according to the said criteria, a container suitability matrix was drawn up (Pic. 1).

The proposed product typology in terms of container suitability allows for the simplest and most straightforward classification of all cargoes in the region and assessing containerization potentials for local conditions. The methodology can be detailed and expanded.

Mathematical formalization of the model

The level of containerization of a cargo flow is usually evaluated through the containerization coefficient, which in the most general form is written as

$$k_{cont} = \frac{Q_{cont}}{Q_{total}}, \tag{1}$$



Pic. 2. Algorithm for justifying the region's need for development of a container transportation system.

where Q_{total} – total volume of cargo transportation in the region, t ; Q_{cont} – volume of transportation of goods in the region in containers, t .

In addition to the number of containerized cargo, the volume of transportation in the region is limited by the degree of development of the container infrastructure. Then we write the coefficient of containerization as a functional:

$$K_{cs} = F(Q_{total}, q, A, H, P, d), \quad (2)$$

where q – number of container-suitable cargoes in the region; A – available container fleet; H – terminal network capacity; P – available rolling stock fleet for container transportation; d – other container flow restrictions.

The indicated parameters are unstable in time, subject to random changes and influence of external factors. Therefore, in order to justify the level of containerization of the region, as well as to justify the intervals for changing the factors that affect it, it is necessary to create an imitation model that allows repeated production scenarios reflecting the process of using the container system in the region.

Pic. 2 shows a block diagram of assessment of the region's need for development of a container system.

We formalize the steps of the above algorithm.

At the first stage, it is necessary to determine the total amount of a cargo flow generated by the region.

Let Q_t be a value of a cargo flow generated by the region over a period of time t as a sum of N types of cargo q_{it} .

The amount of a cargo flow q_{it} is characterized by mass, direction, indicator of specific loading volume and loading characteristics, that is, each outgoing cargo flow can be written as a vector (tuple):

$$Q_t = \sum_{i=1}^N q_{it}(w, l, u, g), \quad (3)$$

where w – mass of a cargo flow, t ; l – direction of shipment of a cargo flow, takes values from 1 to L ; accounting for this parameter helps rational planning of loading of passing containers;

u – specific loading volume of cargo, m^3/t ; the parameter is needed to determine a rational type of a container and calculate a required number of containers;

g – characteristics of the method of loading of the goods; in the framework of the methodology, we will distinguish two characteristics: $g = 1$, if the cargo assumes a standard container without additional costs, $g = 0$, otherwise.

At the second stage we will distinguish container suitable loads in the total volume of transportation. In



accordance with the proposed methodology, we introduce the notation: let $q_i^I, q_i^{II}, q_i^{III}, q_i^{IV}$ – cargoes of I–IV levels of container suitability generated in the region during the period t . Then the total value of the region's cargo flow is:

$$Q_t = \sum_{i=1}^N \bar{q}_{it} = q_i^I + q_i^{II} + q_i^{III} + q_i^{IV}. \quad (4)$$

When developing a simulation model, we will take into account that the demand for container transportation of goods \bar{Q}_t , unsatisfied in the period t , can be postponed for implementation at the time $t + 1$. At the same time, in the conditions of competition in the market of transport services with probability p cargo can be transported by another mode of transport. The probability value p depends on the specificity of the market in the region, as well as on the magnitude of the accepted model time t . Thus, the amount of demand for container transportation in tons at time t is: $\bar{Q}_t + \Delta\bar{Q}_{t-1} \cdot (1 - p)$, where $\Delta\bar{Q}_{t-1}$ – deferred demand, p – probability of switching a cargo flow to an alternative mode of transport.

The next third stage – assessment of the total resource requirements (containers, terminals, rolling stock) to meet the region's demand for container transportation. Considering the existence of different sizes of containers (20- and 40-foot), we take the twenty-foot equivalent (TEU) as the units for measuring a container flow and the processing capacity of terminals.

Let D_{ct} be the region's need for containers at time t , expressed in TEU. Given the possibility of using different types of containers is:

$$D_{ct} = D_{dct} + D_{sdct} + D_{sct} \quad (5)$$

where D_{dct} – the region's need for dry cube, TEU;
 D_{sdct} – the region's need for special dry cube, TEU;
 D_{sct} – the region's need for specific cube, TEU.

In order to meet the demand for container transportation of goods of I level of container suitability, dry cube needs can be evaluated in the amount of:

$$D_{dc t}^I = \frac{\sum_{i=1}^N ((w_{it} + \Delta w_{it-1}(1-p)) \cdot u_i)^I}{R_{dc}} \quad (6)$$

where w_{it} – weight characteristics of the i -th cargo of I level of container suitability, t ;

u_i^I – specific loading volume of the i -th cargo of I level of container suitability, m^3/t ;

R_{dc} – cargo capacity of dry cube, m^3 .

To meet the demand for container transportation of goods of II level of container suitability, dry cube (TEU) will be required at the amount of:

$$D_{dc t}^{II} = \frac{\sum_{i=1}^N ((w_{it} + \Delta w_{it-1}(1-p))^{II})}{W_{dc}} \quad (7)$$

or special dry cube (Flat Track or Open Top) will be required:

$$D_{sdc t}^{II} = \frac{\sum_{i=1}^N ((w_{it} + \Delta w_{it-1}(1-p))^{II})}{W_{sdc}} \quad (8)$$

where W_{dc}, W_{sdc} – load capacity of dry cube or special dry cube, t .

The choice of a type of a container for this category of cargo is due to the presence of an excess container fleet in the region and will be considered at the next stages.

To satisfy the demand for container transportation of goods of III level of container suitability, specialized containers of the variety v (Tank Container, Bulk Container, Ref Container) are required in the amount of:

$$D_{sc t}^{III}(v) = \frac{\sum_{i=1}^N ((w_{it} + \Delta w_{it-1}(1-p)) \cdot u_i)^{III}}{R_{sc}(v)} \quad (9)$$

where $R_{sc}(v)$ – load capacity of a specialized container of the variety v , m^3 .

The need for terminal infrastructure and fitting platforms will be expressed through the established need for a container fleet. That is, for cargo processing of an estimated container flow terminals with total processing capacity for the period t (TEU) will be needed:

$$D_{ht} = D_{ct} \quad (10)$$

To satisfy the given demand for container transportation of cargoes of I–III level of container suitability at the time t , fitting platforms are required in the amount of:

$$D_{pt} = \frac{D_{ct}}{k} \quad (11)$$

where k – parameter that determines capacity of a fitting platform; for 40-foot platforms $k = 2$, for 60-foot $k = 3$, for 80-foot $k = 4$.

At the fourth stage we will estimate the resources of the region to meet a given demand.

Let A_t – be containers available at time t after their unloading in the region, including:

$A_{dc t}$ – number of dry cube in the region at time t , TEU;

$A_{sdc}(v)_t$ – number of special dry cube in the region at time t , TEU;

$A_{sc}(v)_t$ – number of specialized containers of the variety v at time t .

In this case, for each type of container, the characteristic of a shipment direction should be highlighted. Part of the containers intended for loading can be sent in any direction. This concerns a fleet owned by large companies with a developed terminal network (for example, PJSC TransContainer).

We will call such containers «free» (A_t^{fr}). Also in the region there could be containers, which after unloading should be returned to the owner in the direction l . This, as a rule, concerns import containers and containers of international shipping companies. We agree to call such containers «returnable» (A_t^{rev}).

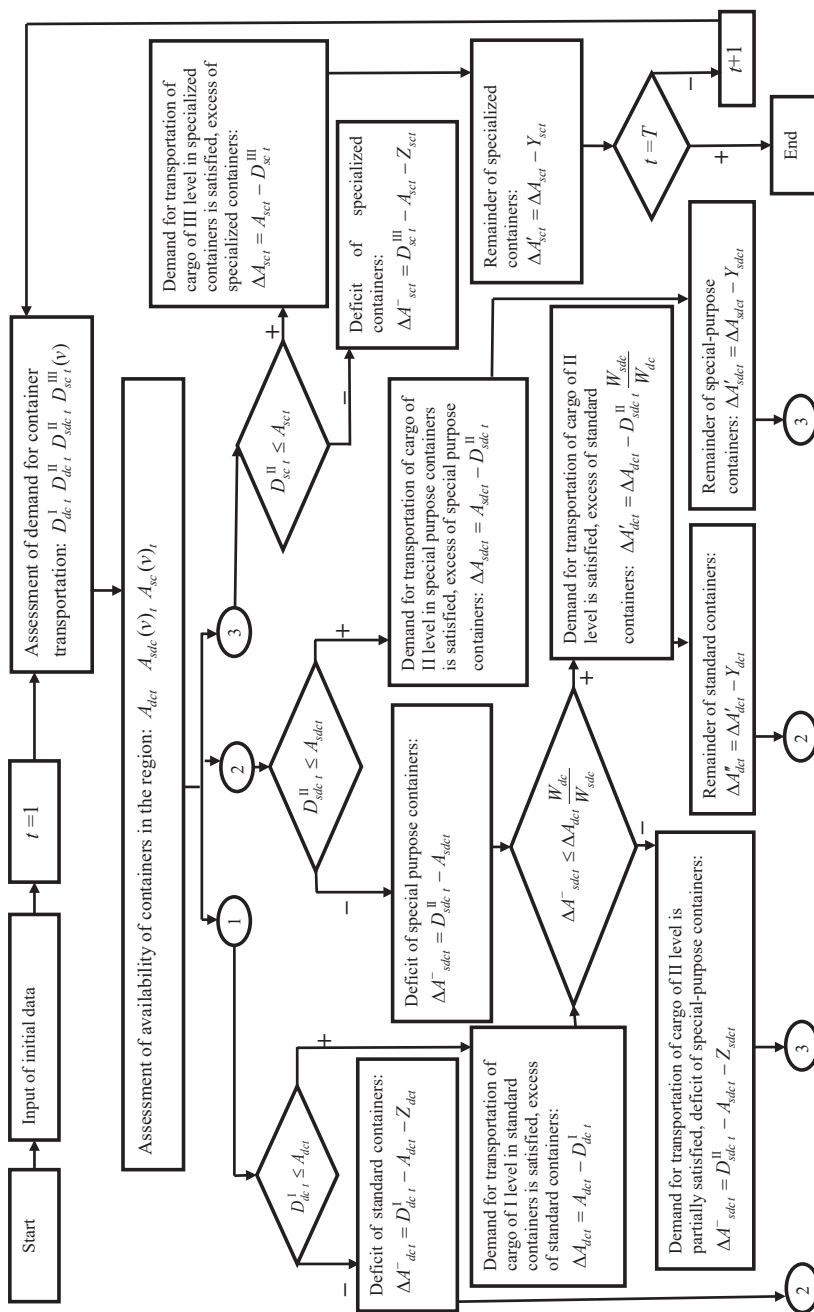
Taking into account the containers released after unloading at time t and the remainder of unclaimed containers ΔA from the period $t - 1$, the expression for determining in the model the presence of a fleet of containers in the region will take a form:

$$A_t = (A_{DCt} + A_{SDC}(v)_t)_{fr} + (\Delta A_{DCt-1} + \Delta A_{SDC}(v)_{t-1} + \Delta A_{SC}(v)_{t-1})_{fr} + (A_{DCt} + A_{SDC}(v)_t + A_{SC}(v)_t)_{rev l} + (\Delta A_{DCt-1} + \Delta A_{SDC}(v)_{t-1} + \Delta A_{SC}(v)_{t-1})_{rev l} \quad (12)$$

Similarly, we formalize the availability in the region of platforms for transportation of containers (TEU):

$P_t = P_t + \Delta P_{t-1}$

Let's imagine capacity of the terminal network of the region for the period t (H_t) as a sum of capacity of M terminals. Assessment of the region's need for a terminal resource takes into account the amount of an incoming flow that the terminal system receives:



Pic. 3. Algorithm for simulating satisfaction of the region's need for containers.

$$H_j = \sum_{j=1}^M (H_{jt} - B_{jt}), \quad (13)$$

where H_{jt} – processing capacity of the j -th terminal for the period t , TEU; B_{jt} – value of an incoming container flow of the j -th terminal for the period t , TEU.

At the fifth stage, to estimate the deficit or surplus of resources, we compare estimation of the total demand for container transportation (stage 3) with the resource constraints of the container system (stage 4).

The maximum volume of container transportation that can be provided by the system will be determined

by the smallest value of the resource potential and available demand, i.e.:

$$Q_{cont} = \min(D_{cp}, A_p, P_p, H_p). \quad (14)$$

If $Q_{cont} = D_{cp}$ within a given period of time, the demand for container transportation is fully satisfied, the container system is capable of ensuring the export of container-suitable products of all levels. Otherwise, it is required either to create a reserve (within the available opportunities), or to invest in development of a particular resource.

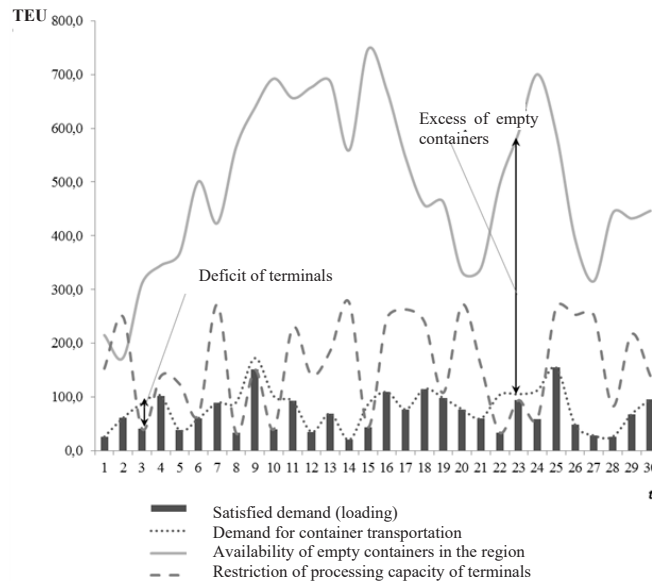
The magnitude of the need for reservation or development of a scarce resource is determined by



Table 1

Initial data of the simulation model of meeting the region's need for container transportation

Parameter	Value
Incoming laden container flow, TEU/day	$B_{it} = 213 + 42R$
Demand of enterprises of the region for container transportation, TEU/day	$D_{dct} = 67 + 16R$
Incoming empty container flow, TEU/day	$Z_t = 6 + 1,5R$
Outgoing empty container flow, TEU/day	$Y_t = 135 + 12R$
Total capacity of container sites, TEU	$E = 8500$
Processing capacity of terminals, TEU/day	$H_t = 1013$
Reserve of processing capacity of terminals to support import/export and sorting of containers	0,5



Pic. 4. The result of calculations using the model of satisfaction of the region's demand for container transportation, $t = \{1, 2, \dots, 30\}$, $N = 1$.

the difference between the demand for a certain resource and its availability.

Given the variability of the types of containers with which the need can be met, we propose the following algorithm for estimating the deficit or surplus of containers in the region:

1) satisfaction of the need for standard containers, special containers, specialized containers is assessed, that is, for each type of a container, the condition is checked:

$$D_{ct} \leq A_t \tag{15}$$

if availability of containers in the region exceeds the demand for them, there is a surplus, otherwise – a deficit;

2) when there is a shortage of special-purpose containers and an excess of standard containers, the possibility of satisfying the need for transportation of goods of II type of container suitability by standard containers is assessed;

3) a deficit or a surplus of each type of containers in the region at time t is assessed, in case of surplus of containers:

$$\Delta A_t = A_t - D_{ct} - Y_t \tag{16}$$

in case of deficit of containers:

$$\Delta A_t^- = D_t - A_t - Z_t \tag{17}$$

where Y_t – outflow of an empty container flow from the region; Z_t – inflow of an empty container flow to the region; while Y_t and Z_t – variable quantities, the

value of which is justified during the playback of the model.

The demand unsatisfied at time t or excess of containers is transferred to the next stage of calculations.

4) the calculation is repeated iteratively from t to T to show the processes of accumulation of excess containers in the region and/or unmet demand for container transportation.

The calculation algorithm is shown in Pic. 3.

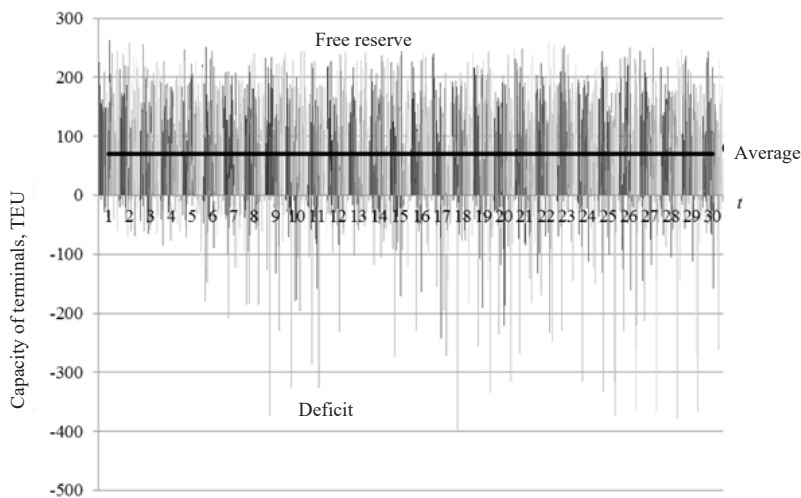
The presented algorithm allows simulating the process of meeting the need for containers in the region, assessing deficit and/or excess of containers of a certain type and, as a result of playing the model, justifying the value of an empty container flow and the level of reservation of the container fleet.

The proposed simulation model contains the following assumptions:

1) the possibility of using standard containers for transportation of goods requiring special transportation mode with the use of special equipment (for example, «flexi-tank» for transportation of bulk cargo in a standard container) is ignored;

2) the priority of loading of containers of different owners on different terminals is ignored.

Similarly, a model is developed for assessing the need for terminal infrastructure in the region, while in case of deficit of terminal capacity, options for



Pic. 5. Experiments to determine demand for the terminal resource of the container system, $t = \{1, 2, \dots, 30\}$, $N = 100$.

improving the organization of work at the terminal and expansion of the terminal network are analyzed, which is the task of individual scientific studies and partially is examined in [23–24]. And this development of events may require significant investment.

At the sixth stage of the algorithm costs and benefits from development of containerization should be compared, this will allow us to justify the level that will ensure the greatest economic effect for the region and for companies that are part of a regional container system. A model for assessing the impact of containerization on the economy of the region is given in [25].

Verification of the model

To verify the simulation model, we set the initial data on the basis of information on functioning of terminal operators in Sverdlovsk region² and the value of container flows obtained in [24], taking into account extrapolation for the current period (Table 1).

The result of the calculation using the model is shown in Pic. 4. To approve the algorithm, we assume that the terminal system of the region processes only standard containers and has three resource limitations: processing capacity of terminals, capacity of container sites, availability of empty containers in the region.

In Pic. 4 it can be seen that the value of the satisfied demand for container transportation does not exceed the demand presented or the resource limitation of the container system, this corresponds to the real notions of its functioning.

The result of approbation of the model showed that, given the initial parameters in the region, excess of empty containers predominates (that is justified by excess of unloading over loading) and there is a periodic deficit of the terminal infrastructure, which manifests itself at the time of occasional bursts of the value of the processed container traffic. To estimate the average level of this deficit, we will carry out N tests of the model (Pic. 5).

The experiment showed that for given initial parameters, the average free reserve (excess) of processing capacity of terminals in the region would be 69 TEU. At the same time, with a 95% probability of

reliability, we can state that the terminal capacity deficit will not exceed 132 TEU, and the surplus excess will not exceed 271 TEU. That is, it is legitimate to conclude that for the region in question there is a need to develop a terminal infrastructure to increase its capacity by 132 TEU per day, this will eliminate system failures during peak periods. In addition, it can be stated that an increase in demand for container transportation by an average of 69 TEU per day (other parameters being constant) will lead to depletion of a free terminal resource.

Conclusion. The demonstrated methodological approach to assessing the region's need for development of container transportations includes three interrelated methods: a method for classifying container suitable products, an imitation algorithm for justifying the region's need for container resources, and a methodology for assessing the impact of containerization on the economy of the region.

The classification procedure for container suitable products distinguishes four levels of container suitability, depending on two criteria: technical possibility to load a cargo in a certain container and economic efficiency of transporting a particular cargo in a container. The proposed methodology allows to maximally simply and uniquely differentiate all the goods of the region and evaluate the potentials of containerization.

An imitation model for assessing the region's demand for container resources (container fleet, terminals, rolling stock) links the need for transportation (taking into account the levels of container suitable products) and the available resources to meet the demand. The proposed algorithm helps to solve the following problems:

- assess the need for reserving various resources in the region to meet the overall demand for container transportation;
- plan the amount of sending excess or ordering of scarce empty containers and rolling stock;
- forecast the need for developing resources to meet future demand.

The method of assessing the impact of containerization on the economy of the region makes it possible to justify the necessary level of development of the resources of the container system, which will provide its participants with the greatest economic effect.

² Ural logistics association. Official website [Electronic resource]: <http://noula.ru/>. Last accessed 01.02.2018).



REFERENCES

1. Boşneagu, R., Coca, C. E., Sorescu, F. Sea Global Containerized Trade. Present and Future. *EIRP Proceedings*, 2015, No. 10, pp. 360–368.
2. Wagener, N. Intermodal transport in Europe – opportunities through innovation. *LogForum*, 2014, No. 10, pp. 371–382.
3. Chou, Ch., Chu, Ch., Liang, G. A modified regression model for forecasting the volumes of Taiwan's import containers. *Mathematical and Computer Modeling*, 2008, Vol. 47, Iss. 9–10, pp. 797–807. DOI: 10.1016/j.mcm.2007.05.005.
4. Rozmarynowska, M., Smolarek, L. Hierarchical Model of Container Ports Throughput. *International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 2015, No. 4, pp. 461–466. DOI: 10.12716/1001.09.04.01.
5. Wang, L., Zhu, X. Rail mounted gantry crane scheduling optimization in railway container terminal based on hybrid handling mode. *Computational Intelligence and Neuroscience*. 2014 [Electronic resource]: <https://www.hindawi.com/journals/cin/2014/682486/>. Last accessed 29.06.2018. DOI: 10.1155/2014/682486.
6. Yanchenko, A. A., Malikova, T. E., Volnov, I. N. Development of a model for the study of the effect of zoning of a container terminal on efficiency of its operation [Razrabotka modeli issledovaniya vliyaniya zonirovaniya konteynernogo terminala na effektivnost' ego raboty]. *Vestnik of Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping*, 2017, Iss. 4, pp. 704–713. DOI: 10.21821/2309–5180–2017–9–4–704–713.
7. Parshina, R. N. Methodology of organization of trans-Siberian international container transportation Europe–Asia in transit through Russia. D.Sc. (Eng) thesis [Metodologiya organizatsii transsibirskikh mezhduнародnykh konteynernykh perezovok Evropa–Azia tranzitom po Rossii. Dis... dok. teh. nauk]. Moscow, 2013, 455 p.
8. Kos, S., Zenzerović, Z. Model of Optimal Cargo Transport Structure by Full Container Ship on Predefined Sailing Route. *Promet–Traffic–Traffic*, 2007, No. 16, pp. 15–20. DOI: 10.7307/ptt.v16i1.568.
9. Twrdy, E., Beskovnik, B. Productivity simulation model for optimization of maritime container terminals. *Transport Problems*, 2009, No. 4, pp. 113–122.
10. Tan, C., He, J. Integrated Yard Space Allocation and Yard Crane Deployment Problem in Resource-Limited Container Terminals. *Scientific Programming*. 2016 [Electronic resource]: <https://www.hindawi.com/journals/sp/2016/6421943/>. Last accessed 29.06.2018. DOI: 10.1155/2016/6421943.
11. Rezer, S. M., Moskvichev, O. V., Moskvicheva, E. E. Optimization of the model of formation and functioning of the container-transport system of the country [Optimizatsiya modeli formirovaniya i funktsionirovaniya konteynerno-transportnoi sistemy strany]. *Transport: nauka, tehnika, upravlenie*, 2016, Iss. 7, pp. 3–7.
12. Chen, X., Zhu, X., Zhou, O., Wong, Y. D. Game-Theoretic Comparison Approach for Intercontinental Container Transportation: A Case between China and Europe with the B&R Initiative. *Journal of Advanced Transportation*. 2017 [Electronic resource]: <https://www.hindawi.com/journals/jat/2017/3128372/>. Last accessed 29.06.2018. DOI: 10.1155/2017/3128372.
13. Li S., Zhang W., Tang L. Grey Game Model for Energy Conservation Strategies. *Journal of Applied Mathematics*. 2014 [Electronic resource]: <https://www.hindawi.com/journals/jam/2014/765805/>. Last accessed 29.06.2018. DOI: 10.1155/2014/765805.
14. Belbo, H., Talbot, B. Systems Analysis of Ten Supply Chains for Whole Tree Chips. *Forests*, 2014, No. 5, pp. 2084–2105. DOI: 10.3390/f5092084.
15. Nikolashin, V. M. Logistic principles of container transportation and optimization of supply chains of goods [Logisticheskie printsipy konteynernykh perezovok i optimizatsii isepi postavok tovarov]. *Transport: nauka, tehnika, upravlenie*, 2009, Iss. 1, pp. 28–30.
16. Intihar, M., Kramberger, T., Dragan, D. Container Throughput Forecasting Using Dynamic Factor Analysis and ARIMAX Model. *PROMET – Traffic & Transportation*, 2017, No. 5 (29), pp. 529–542. DOI: 10.7307/ptt.v29i5.2334.
17. Rakhmangulov, A. N., Muraviev, D. S. Evaluation of development directions of the systems «seaport→dry» port» by the simulation method [Otsenka napravlenii razvitiya sistem «mosrkoj port→sukhoj port» metodom imitatsionnogo modelirovaniya]. *Vestnik of Ural State University of Railway Transport*, 2016, Iss. 3, pp. 54–72.
18. Hirschmann, T. R. The containerized freight system as a means of production distribution: analysis and prospects, N.Y.: Ithaca, 1970, 234 p.
19. Wijnfels, R. H., Vrebois, J. European transport law. Antwerpen, Belgium: R. H. Wijnfels, 1966, 613 p.
20. Moskvichev, O. V., Nikonov, Yu. S. Evaluation of the potential and perspectives of the container transport system development [Otsenka potentsiala i perspektiv razvitiya konteynernoi transportnoi sistemy]. *Zheleznodorozhnyy transport*, 2013, Iss. 4, pp. 37–39.
21. Nikonov, Yu. S. Method of determining container serviceability of products. *World of Transport and Transportation*, Vol. 13, 2015, Iss. 3, pp. 184–190.
22. Monios, J., Bergqvist, R. *Intermodal Freight Transport and Logistics*, Boca Raton, USA: CRC Press, 2017, 280 p.
23. Say, V. M., Kochneva, D. I. Increase of efficiency of works on the terminal [Povyshenie effektivnosti rabot na terminale]. *Vestnik of Ural State University of Railway Transport*, 2011, Iss. 4, pp. 52–57.
24. Kochneva, D. I. Increase in efficiency of functioning of regional container transport-logistical system. Ph.D. (Eng) thesis [Povyshenie effektivnosti funktsionirovaniya regionalnoi konteynernoi transportno-logisticheskoi sistemy. Dis... kand. teh. nauk]. Yekaterinburg, USURT, 2012, 138 p.
25. Kochneva, D. I. A model for assessing the impact of a container transport and logistics system on the regional economy [Model otsenki vliyaniya konteynernoi transportno-logisticheskoi sistemy na ekonomiku regiona]. *Vestnik of Ural State University of Railway Transport*, 2017, Iss. 4, pp. 114–119. ●

Information about the authors:

Say, Vasily M. – D.Sc. (Eng), professor of the department of Track and railway construction of Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg, Russia, VSay@usurt.ru.

Kochneva, Daria I. – Ph.D. (Eng), associate professor of the department of World economy and logistics of Ural State University of Railway Transport (USURT), Yekaterinburg, Russia, dana_rich@mail.ru.

Article received 28.06.2018, accepted 29.08.2018.