УДК 656.073

Моделирование оценки потребности региона в контейнерных перевозках

Василий САЙ
Vasiliy 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 вдвое[1].

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 груза на контейнеропригодные и контейнеронепригодные 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 контейнеронепригодным 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 контейнеропригодности грузов.

с развитием специализированных контейнеров номенклатура пригодных грузов существенно расширилась. Поэтому контейнеропригодность 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 контейнеропригодных грузов.

Все виды перевозимой продукции дифференцируем по двум критериям контейнеропригодности: 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, $м^3/т$). Если удельный погрузочный объём превышает удельную грузовместимость контейнера (УГК, $м^3/т$), 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 контейнеропригодности продукции.

I уровень – абсолютно контейнеропригодная 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 грузовместимости 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 – контейнеронепригодная 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 контейнеропригодности (рис. 1).

Предложенная типология продукции по уровню контейнеропригодности 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 контейнеропригодных грузов объём перевозок в регионе ограничивается степенью развития контейнерной инфраструктуры. Тогда коэффициент контейнеризации запишем как функционал:

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

где q – количество котейнеропригодных 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):

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

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, м^3/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-

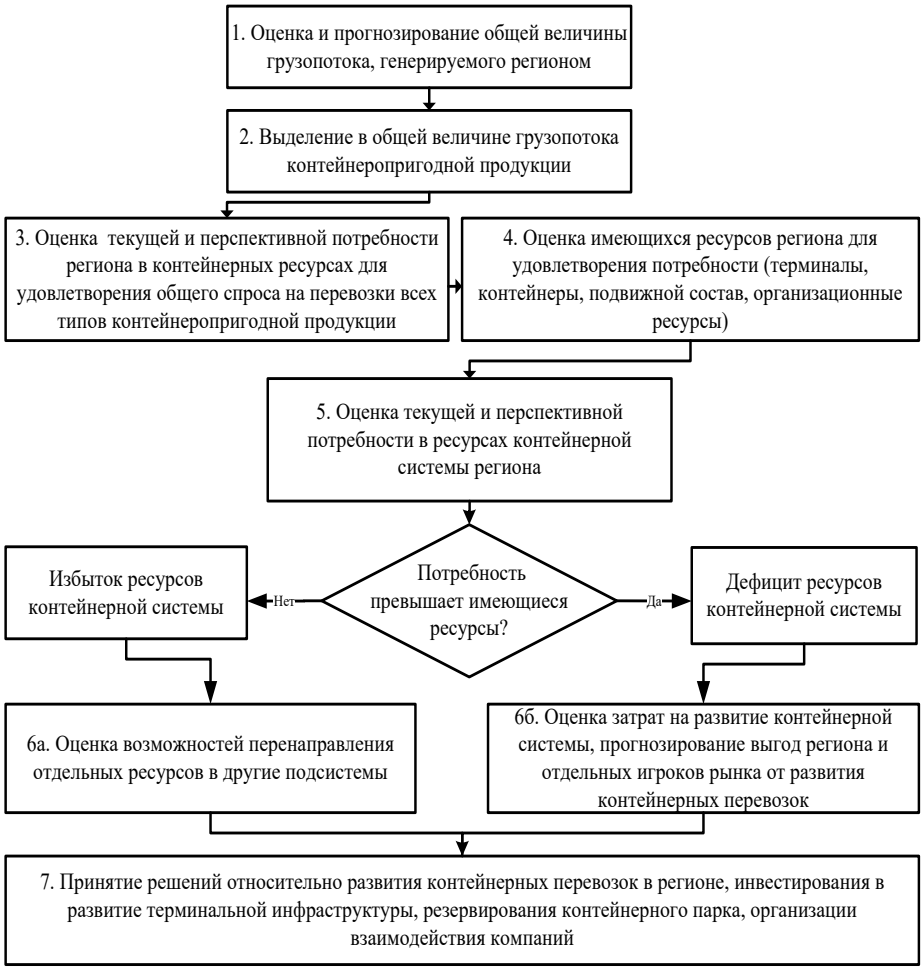

Рис. 2. Алгоритм обоснования потребности региона в развитии системы контейнерных перевозок.

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

На втором этапе выделим в общем объёме перевозок контейнеропригодные 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 контейнеропригодности, генерируемые в регионе за период t. Тогда общая величина грузопотока региона:

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

При формировании имитационной модели будем учитывать, что спрос на контейнерную перевозку грузов $\overrightarrow{Q_t}$, 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: $\overrightarrow{Q_t} + \overrightarrow{\Delta Q_{t-1}} \cdot (1 - p)$, где $\overrightarrow{\Delta Q_{t-1}}$ – 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 терми-

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:

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

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, м^3/т;

R_{dc} – грузовместимость стандартного контейнера, м^3.

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

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

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

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

где W_{dc}, W_{sdc} – грузоподъёмность 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:

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

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

Потребность в терминальной инфраструктуре и фитинговых платформах выразим через установленную потребность в контейнерном парке. То есть для грузопереработки расчётного 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 четвёртом 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;

$A_{sdc}(v)_t$ – 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-

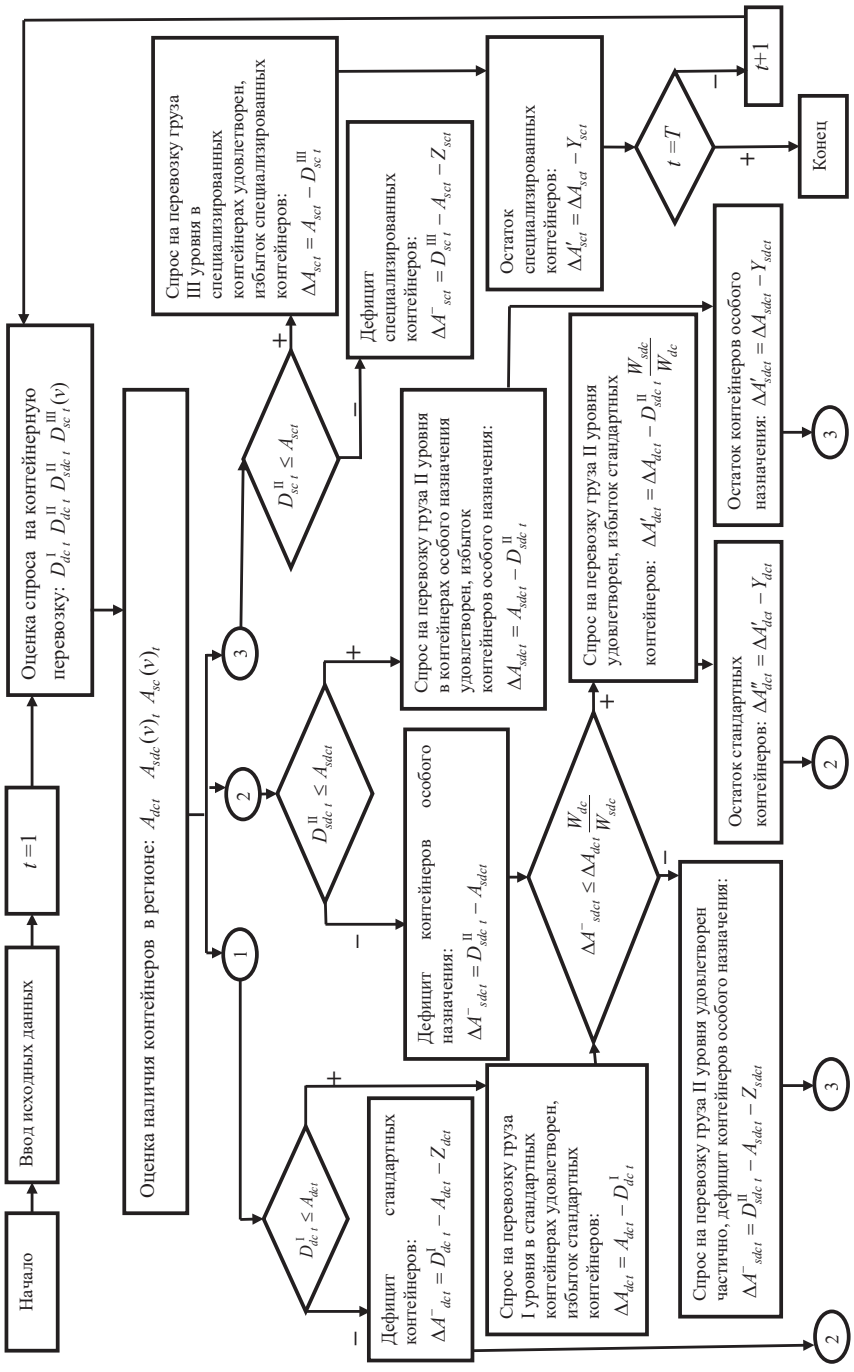

Рис. 3. Алгоритм имитации удовлетворения потребности региона в контейнерах.

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^{rev}).

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:

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

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:

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

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);

Таблица 1

Исходные данные имитационной модели удовлетворения потребности региона в контейнерных перевозках

Параметр	Величина
Входящий гружёный 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 завозу/вывозу и сортировке контейнеров	0,5

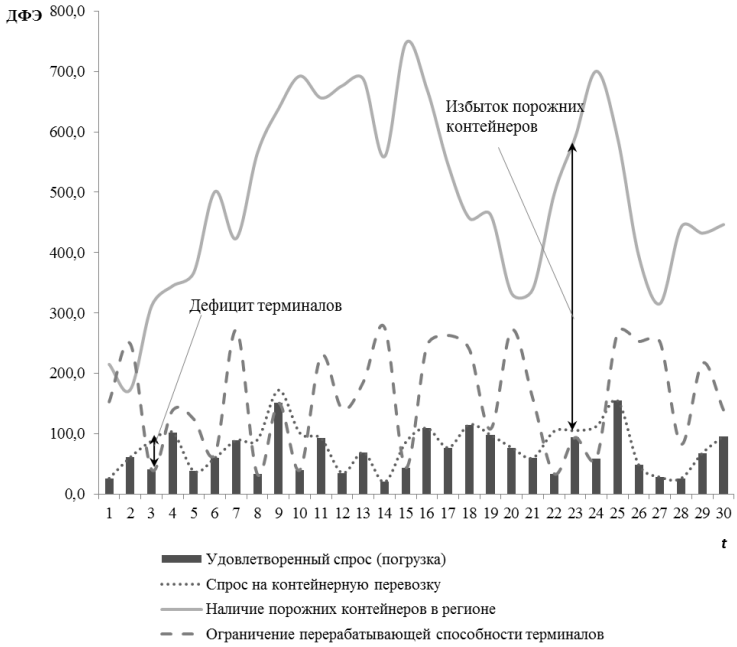

Рис. 4. Результат расчётов на модели удовлетворения потребности региона в контейнерных перевозках, t = {1,2,...30}, N = 1.

• 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 области[2] 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).

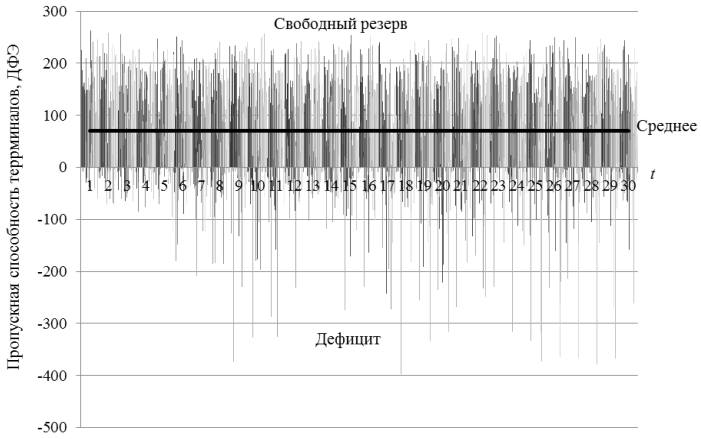

Рис. 5. Эксперименты по определению спроса на терминальный ресурс контейнерной системы, t = {1,2,…30}, N = 100.

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 увеличение спроса на контейнерные перевозки в среднем на 69 ДФЭ в сутки (при постоянных прочих параметрах) приведёт к исчерпанию 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. Boşneagu R., Coca C. E., Sorescu F. Sea Global Containerized Trade. Present and Future // EIRP Proceedings.– 2015.– № 10. – pp. 360–368.

2. Wagener 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 транссибирских 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 B. 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., Vrebos J. European transport law. – Antwerpen, Belgium: R. H. Wijffels, 1966.– 613 p.

20. Москвичев О. В., Никонов Ю. С. Оценка потенциала и перспектив 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.