

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Майоров Николай Николаевич –
кандидат технических наук, доцент.
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«Санкт-Петербургский государственный
университет аэрокосмического приборостроения»
sciencesuai@yandex.ru
Кириченко Александр Викторович –
доктор технических наук, профессор.
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
Kirichenko.AV@gumrf.ru
Фетисов Владимир Андреевич –
доктор технических наук, профессор.
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«Санкт-Петербургский государственный
университет аэрокосмического приборостроения»
Fet1@aanet.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Majorov Nikolaj Nikolaevich –
Candidate of Engineering, associate professor.
Saint-Petersburg State University of Aerospace
Instrumentation
sciencesuai@yandex.ru
Kirichenko Aleksandr Viktorovich –
Doctor of Engineering, professor.
Admiral Makarov State University
of Maritime and Inland Shipping
Kirichenko.AV@gumrf.ru
Fetisov Vladimir Andreevich –
Doctor of Engineering, professor.
Saint-Petersburg State University of Aerospace
Instrumentation
Fet1@aanet.ru

УДК 656.1

**А. Л. Кузнецов,
С. С. Павленко,
В. Н. Щербакова-Слюсаренко**

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕТЕЙ КОНТЕЙНЕРНОГО ГРУЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Статья посвящена вопросам генезиса, эволюции и моделирования сетей контейнерного распределения. Подробно рассмотрены основные причины и факторы, вызывающие к жизни процессы формирования сетей и систем контейнерного грузораспределения — от развития первичных связей между грузополучателями и портами, до появления полноценных круговых отправок грузов маршрутными партиями через сухопутные центры контейнерного грузораспределения. Целью проведенной работы является определение зависимости суммарных конечных затрат грузоотправителей при организации отправок в различных сетях грузораспределения от периодичности и географии отправок. Достижение данной цели возможно с использованием имитационного моделирования. Приведено описание имитационной модели сетей контейнерного грузораспределения, проведен анализ практических результатов моделирования, а также сделаны выводы о возможностях применения видов сетей контейнерного грузораспределения, исходя из различных рыночных условий с учетом варьирования периодичности и географии отправок.

Ключевые слова: логистика добавленной стоимости, контейнеры, логистика, контейнерные перевозки, центры грузораспределения, имитационное моделирование.

Эволюция сетей контейнерного грузораспределения

С последней четверти XX в. облик морской транспортной индустрии претерпел значительные изменения. Начальный период развития системы контейнерного грузораспределения в большинстве стран предполагал растарку и затарку контейнеров на территории порта, как показано на рис. 1, без их выпуска в тыловые территории [1], [2]. Грузы выгружались из контейнера и покидали порт в виде генерального груза. Какая-то часть контейнеров загружалась в порту обратным грузом, также прибывающим в порт в виде брейк-балка.

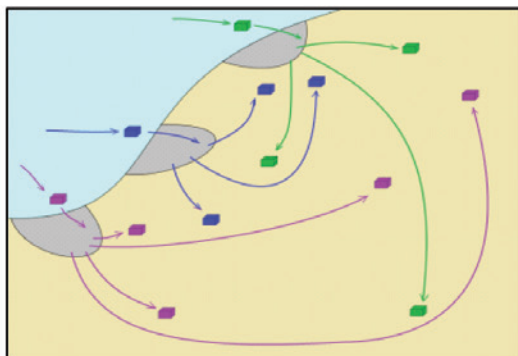


Рис. 1. Обработка на терминалах морских портов

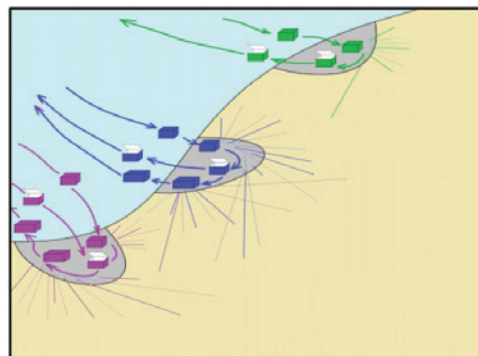


Рис. 2. Доставка импортных контейнеров

Судоходные линии следили за обеспечением баланса выгруженных и погруженных в каждом порту контейнеров (груженых или порожних), поскольку этого требовала природа их оборота как многоразовой тары и экономика замкнутых циклов обращения. При превышении объема импортных грузов над экспортными из порта вывозился излишек порожних контейнеров, в обратном случае ввозились порожние [3]. Однако идеальная сбалансированность импортно-экспортных потоков наблюдалась лишь на начальном этапе контейнеризации, когда для насыщения всего контейнерного оборота было достаточно самого малого объема имеющегося генерального груза. Контейнер все больше завоевывал популярность как интермодальное оборудование, идеально подходящее для доставки грузов в территории грузового тяготения, и контейнеры линий под ответственностью экспедиторов начали проникать в территории грузового тяготения портов.

В России в импорте всегда преобладали груженые контейнеры, поскольку перевозимыми в них грузами являлись в основном промышленные товары. Эти импортные грузопотоки складывались обычно из отправок контейнеров мелким и потому многочисленным грузополучателям, рассеянным по значительной территории [4]. Малый размер грузовых партий заставлял делать выбор в пользу автомобильного транспорта — даже на расстояниях экономического предпочтения железной дороги или внутреннего водного транспорта и при наличии соответствующих транспортных путей. Транспортная процедура при этом разбивалась на несколько отдельных этапов.

Первым этапом процесса контейнерной транспортировки являлась доставка груженых контейнеров из порта в адрес грузополучателя, условно показанная на рис. 2, для ограниченного числа мест доставки. Доставленный контейнер растаривался, тем самым переходя в категорию порожних по месту доставки груза. В большинстве случаев потребители промышленных товаров по специфике своего бизнеса не имели обратного генерального груза для затарки образовавшихся порожних контейнеров, поэтому общим решением был возврат их в порт, откуда был получен груз, как показано на рис. 3. Порожние контейнеры, возвращенные в порт получателями импортных грузов, ожидали там отправки морем к поставщикам импортных грузов.

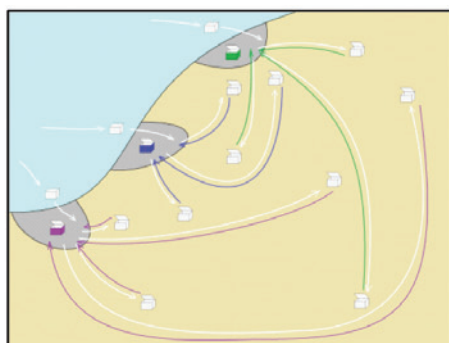


Рис. 3. Возврат порожних контейнеров в порт

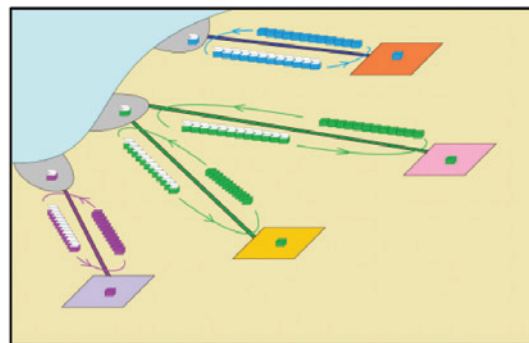


Рис. 4. Репозиционирование порожних контейнеров

Появление экспортных контейнеризированных грузов в первую очередь было связано с работой различных производств — химических, деревообрабатывающих комбинатов, металлургических заводов и пр. Природа их деятельности и экономика транспортировки диктовали использование, как правило, железнодорожного транспорта. Продукция этих грузоотправителей, которая раньше перевозилась в крытых вагонах, полувагонах и на платформах, постепенно стала перевозиться в контейнерах. Отправка поездных партий груза стала требовать симметричной подачи из портов к месту загрузки соответствующих партий порожних контейнеров, как показано на рис. 4.

Подача порожних контейнеров под загрузку в тыловых территориях порта (хинтерленде) носит название «репозиционирование». Если объем производства был согласован с расписанием движения морских линий, проблемы транспортировки не возникало: заблаговременно к моменту подхода судна производство готовило необходимое число экспортных железнодорожных партий, для их транспортировки в порт подавались порожние контейнеры, которые загружались и возвращались в порт круговыми железнодорожными маршрутами. Избыток или дефицит порожних контейнеров восполнялся морскими перевозками (как на начальном этапе, показанном на рис. 1, но с учетом железнодорожных звеньев). Сколько бы отдельных линий ни заходило в тот или иной порт, импортный и экспортный контейнерные потоки к отдельным производствам реализовались через один порт, что позволяло легко устанавливать баланс порожних и использовать полные маршрутные поезда.

С течением времени, по самым разным причинам список портов захода линий может меняться. Кроме того, при возможном ухудшении конъюнктуры рынка, особенно во времена экономического кризиса, уровень «точечного» потребления падает [5]. Для сохранения объема производства и выживания на рынке, поставщики (производители) вынуждены расширять географию рынков и бороться за любых, самых мелких клиентов. Частота сервиса же напрямую связана с максимальным периодом ожидания отправки (получения) груза. Меньший требуемый период доставки грузов в адрес одного порта и множественность ее адресатов не позволяли накопить достаточные для оптимальных перевозок по железной дороге партии грузов. Вытекающее из этого ухудшение экономики перевозок усугубляют обстоятельства наступающего экономического кризиса. Как следствие, сформировавшаяся картина сбалансированных перевозок, показанная на рис. 4, нарушается. Производства заключают контракты с многочисленными потребителями, которые предполагают перевозку различными линиями через различные порты, не имеющие прямого железнодорожного сообщения и даже не имеющими железнодорожного сообщения вовсе. Сроки доставки исключают возможность использовать длинные сроки накопления груза в адрес одного порта. Возникает ситуация, когда в адрес каждого порта партия не составляет объема, нужного для организации маршрутных контейнерных отправок, хотя общий объем продукции позволял бы это сделать, что показано на рис. 5 [6].

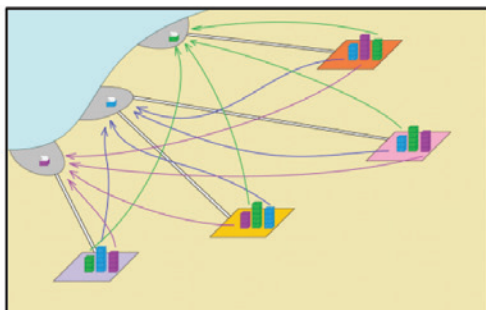


Рис. 5. Проблема репозиционирования

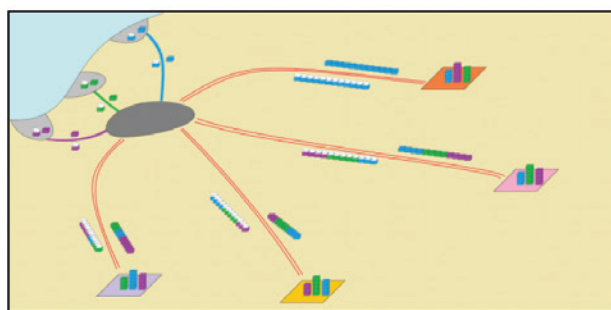


Рис. 6. Концепция сухого порта

Появляется необходимость перехода на повагонные отправки или даже автомобильный транспорт, поскольку в каждом отдельном порту имеются порожние контейнеры, но они принадлежат различным линиям и не могут составлять объемы, требуемые для полноценных маршрут-

ных контейнерных отправок. Очевидно, что ухудшение конъюнктуры рынка напрямую снижает конечную цену товара и косвенно повышает его себестоимость. Производства начинают испытывать сильное экономическое давление. Решением этой проблемы является использование концепции сухого порта, расположенного в ближнем хинтерленде портового кластера [7] – [10]. При этом известном и эффективном логистическом решении в сеть транспортировки вводится новый терминал железнодорожного транshipment (транshipmentом называется передача груза между одним и тем же видом транспорта), или «сухой порт», что показано на рис. 6. Смысл этого названия в том, что для грузоотправителя и грузополучателя этот терминал выполняет все функции морского порта: в общем случае им все равно, через какие именно ворота их груз ввозится или вывозится для морской перевозки. На территории сухого порта осуществляется перекомпоновка маршрутных контейнерных отправок, содержащих адресованные в разные порты партий, в контейнерные же поезда однородной адресации.

Другим вариантом является использование для технологической перевозки между «сухим портом» и морскими портами специализированного автотранспорта. Выбор того или иного варианта зависит от многих факторов: наличия железнодорожных путей, их статуса и проч. В реальных случаях решение о введении «сухого порта» в сеть маршрутов транспортировки не так легко выполнить — необходимо иметь особую конфигурацию транспортных маршрутов. В случае железнодорожного транспорта это не так просто сделать и по времени и по трудоемкости. Во многих практических случаях общие варианты реализуются на сложной иерархической железнодорожной сети.

Поскольку в любом случае изменение схемы транспортировки грузов связано с масштабными затратами, целесообразность перехода на концепцию «сухого порта» должна тщательно обосновываться. Традиционный инструментарий проектирования, планирования и управления оказывается непригодным для управления глобальными логистическими цепями поставок. Интуитивные решения, даже основанные на обширном опыте и коммерческом чутье топ-менеджеров с безупречными резюме, могут оказаться опасными для судеб мега-компаний. Наиболее эффективным инструментом принятия подобных стратегических решений является имитационное моделирование [11] – [14]. Оно не является панацеей и не гарантирует 100 % успеха, но оно не имеет приемлемых альтернатив [15].

Описание имитационной модели сетей контейнерного грузораспределения

На рис. 7 рассмотрены возможные варианты маршрутов между предприятиями-производителями и морскими портами.

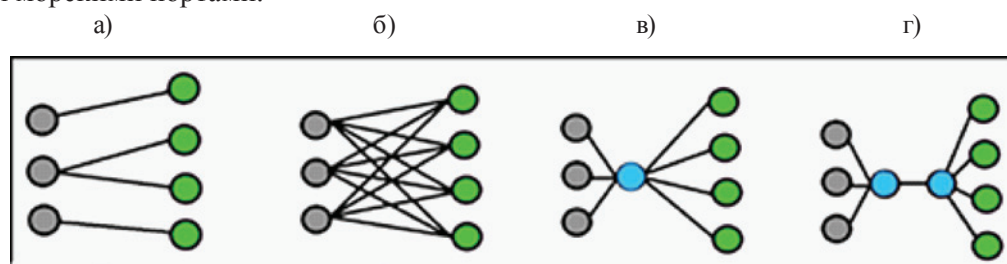


Рис. 7. Конфигурации сетей контейнерного грузораспределения

Как следует из содержательной постановки задачи, изменение объемов отправок продукции предприятий-производителей в морские порты может приводить к отступлениям от схемы, показанной на рис. 7, а. Возможными вариантами является прямая доставка от каждого предприятия в каждый порт-получатель (рис. 7, б), использование консолидирующего узла — «сухого порта» (рис. 7, в), использование двух консолидирующих распределительных узлов (рис. 7, г).

Пусть r_i обозначает предприятие i , и p_j обозначает порт j . В случае конфигурации сетей контейнерного грузораспределения, показанных на рис. 7, а и рис. 7, б, предприятие i направляет в порт j плановый годовой объем $q[r_i, p_j] = q_{ij}$. Эти значения совокупно образуют матрицу годово-

вых грузопотоков между предприятиями и портами $Q = Q_{ij} = q_{ij}$. Каждое предприятие r_i характеризуется своим предельно допустимым интервалом отправки груза в порт t_i^{int} , значения которых составляют вектор-столбец $T^{int} = T_{i,1}^{int} = t_i^{int}$. Тем самым, объем одновременной регулярной отправки из предприятия i в порт j составляет величину $v_{ij} = \frac{q_{ij}}{t_i^{int}}$. Соответствующие значения формируют матрицу объемов регулярных отправок $V = V_{ij} = v_{ij}$.

Если объем регулярной отправки $v_{ij} = \frac{q_{ij}}{t_i^{int}}$ превышает значение V , принимаемое равным максимальной вместимости поезда из 60 фитинговых платформ, т. е. 120 TEU, то для перевозки части регулярной отправки, кратной значению V , используется маршрутная отправка — железнодорожная отправка по одной накладной партии груза в количестве, соответствующем грузоподъемности целого состава поезда. Соответствующие значения формируют матрицу объемов регулярных маршрутных отправок $V_{\text{марш}} = V_{i,j \text{ марш}} = v_{ij \text{ марш}}$.

Если объем регулярной отправки $v_{ij} = \frac{q_{ij}}{t_i^{int}}$ не превышает значение V или составляет большее значение, то для перевозки регулярной отправки объема более или менее значения V , используется повагонная отправка — железнодорожная отправка по одной накладной партии груза, для перевозки которого по его объему, массе или роду требуется отдельный вагон. Соответствующие значения формируют матрицу объемов регулярных повагонных отправок $V_{\text{ваг}} = V_{i,j \text{ ваг}} = v_{ij \text{ ваг}}$.

Когда для регулярной отправки используется маршрутная отправка, применяется тариф C_{ij}^{train} за каждую перевозимую единицу. Когда для регулярной отправки используется повагонная отправка, применяется тариф C_{ij}^{car} за перевозимую единицу, причем $C_{ij}^{\text{train}} = 0,9 C_{ij}^{\text{car}}$. Соответствующие тарифы образуют матрицы $C^{\text{train}} = C_{ij}^{\text{train}} = c_{ij}^{\text{train}}$ и $C^{\text{car}} = C_{ij}^{\text{car}} = c_{ij}^{\text{car}}$.

В случае конфигурации сетей контейнерного грузораспределения, показанных на рис. 7, а и рис. 7, б, задача ставится следующим образом: при заданных значениях $Q = q_{ij}$, $T^{int} = t_i^{int}$, V , $C^{\text{train}} = c_{ij}^{\text{train}}$, $C^{\text{car}} = c_{ij}^{\text{car}}$ определить, какая из данных двух конфигураций транспортной сети является предпочтительной по критерию совокупных затрат. Решение задачи для сетей контейнерного грузораспределения, показанных на рис. 7, а и рис. 7, б, предполагает следующие действия.

1. Вычисление матрицы объема регулярных вывозов с заводов $V_{\text{пер}} = v_{ij \text{ пер}} = Q_{ij} / \left(\frac{365}{T^{int}} \right) = q_{ij} / \left(\frac{365}{t_i^{int}} \right)$.
2. Формирование матрицы регулярных маршрутных отправок $V_{\text{марш}} = V_{i \times j \text{ марш}} = v_{ij \text{ марш}}$ при соблюдении условия $v_{ij \text{ пер}} \geq V$ и матрицы регулярных повагонных отправок $V_{\text{ваг}} = V_{i \times j \text{ ваг}} = v_{ij \text{ ваг}}$ в случаях, когда $v_{ij \text{ пер}} < V$.
3. Формирование матрицы тарифов $C^{\text{train}} = C_{ij}^{\text{train}} = c_{ij}^{\text{train}}$ и $C^{\text{car}} = C_{i \times j}^{\text{car}} = c_{ij}^{\text{car}}$.
4. Вычисление матрицы стоимости перевозок из заводов в порты $X = X_{ij} = x_{ij} = c_{ij}^{\text{car}} \cdot v_{ij \text{ ваг}} + c_{ij}^{\text{train}} \cdot v_{ij \text{ марш}}$.
5. Вычисление суммы элементов матрицы X , дающее значение суммарной стоимости.
6. Вычисление вектора стоимости перевозки годовой партии от каждого завода $X_{\text{год}} = x_{i \text{ год}}$ и вычисление вектора стоимости доставки одного TEU от каждого завода $X_{\text{TEU}} = x_{i \text{ TEU}}$.

В случае конфигурации сети контейнерного грузораспределения, показанной на рис. 7, в, предприятие i направляет грузы не прямо в порты, а в некий контейнерный центр грузораспределения L_1 , откуда общий объем далее распределяется между портами j . Соответственно, матрица годовых грузопотоков между предприятиями и портами $Q = Q_{ij} = q_{ij}$ распадается на два вектора — вектор-столбец, описывающий поставки из предприятий в некий контейнерный центр грузораспределения L_1 , т. е. $Q^r = Q_{i,L_1}^r = q_{i,L_1}^r$, и вектор-строку, описывающий поставки из некоего контейнерного центра грузораспределения L_1 в морские порты, т. е. $Q^p = Q_{L_1,j}^p = q_{L_1,j}^p$.

В случае конфигурации сети контейнерного грузораспределения, показанной на рис. 7, в, каждое предприятие r_i также будет характеризоваться своим предельным допустимым интервалом отправки груза в контейнерный центр грузораспределения t_i^{int} , значения которых составляют вектор-столбец $T^{int} = T_{i,1}^{int} = t_i^{int}$. Тем самым, объем одновременной регулярной отправки из пред-

приятия i в порт контейнерный центр грузораспределения L_1 , как и в предыдущих вариантах, составляет величину $v_{iL_1} = \frac{q_{iL_1}}{t_i^{int}}$. Соответствующие значения сформируют вектор объемов регулярных отправок $V = V_{iL_1} = v_{iL_1}$. В данном случае действуют те же условия и принципы применения повагонных и маршрутных отправок, что и случаях, показанных на рис. 7, а и рис. 7, б.

В случае конфигурации сети контейнерного грузораспределения, показанной на рис. 7, в, тарифы на повагонную и маршрутную отправки будут отличаться по принципу $C_{ij}^{train} > C_{iL_1}^{train}$ и $C_{ij}^{car} > C_{iL_1}^{car}$ в связи с меньшим расстоянием перевозок. Тариф на перевозки партий груза из контейнерного центра грузораспределения L_1 в морские порты j в так называемых «поездах-шаттлах» определяется значением U и задается вектор-строкой $U = U_{L_1j} = U_{L_1}$.

В случае конфигурации сети контейнерного грузораспределения, показанной на рис. 7, в, задача ставится следующим образом: при заданных значениях $Q = q_{ij}$, $T^{int} = t_i^{int}$, V , $C^{train} = c_{iL_1}^{train}$, $C^{car} = c_{iL_1}^{car}$ и $U = U_{L_1j}$ определить, какая из трёх конфигураций транспортной сети является предпочтительной по критерию совокупных затрат. Решение задачи для сети контейнерного грузораспределения, показанной на рис. 7, в, предполагает следующие действия.

1. Вычисление вектора объемов регулярных вывозов с заводов $V_{per} = v_{iL_1per} = Q_i / \left(\frac{365}{T^{int}} \right) = q_i / \left(\frac{365}{t_i^{int}} \right)$.
2. Формирование вектора регулярных маршрутных отправок $V_{марш} = V_{i \times L_1 марш} = v_{iL_1 марш}$ при соблюдении условия $v_{iL_1per} \geq V$ и вектора регулярных повагонных отправок $V_{ваг} = V_{iL_1 ваг} = v_{iL_1 ваг}$ в случаях, когда $v_{iL_1per} < V$.
3. Формирование векторов применяемых тарифов $C^{train} = C_{iL_1}^{train} = c_{iL_1}^{train}$ и $C^{car} = C_{iL_1}^{car} = c_{iL_1}^{car}$.
4. Вычисление вектора-столбца стоимости перевозок из заводов в контейнерный центр грузораспределения $X = X_{iL_1} = x_{iL_1} = c_{iL_1}^{car} \cdot v_{iL_1 ваг} + c_{iL_1}^{train} \cdot v_{iL_1 марш}$.
5. Вычисление вектора-строки стоимости перевозок из контейнерного центра грузораспределения в морские порты $Y = Y_{L_1j} = y_{L_1j} = U_{L_1j} \cdot q_j$.
6. Вычисление суммы элементов векторов X и Y , дающее суммарную стоимость перевозок.
7. Вычисление вектора стоимости перевозки годовой партии от каждого завода $X_{год} = x_{i год}$ и вычисление вектора стоимости доставки одного TEU от каждого завода $X_{TEU} = x_{i TEU}$.

В случае конфигурации сети контейнерного грузораспределения, показанной на рис. 7, з, предприятие i направляет грузы не прямо в порты, а в некий ближайший контейнерный центр грузораспределения L_2 , где партии объединяются, грузятся в ускоренные контейнерные поезда (далее — УКП) и направляются в контейнерный центр грузораспределения L_1 . Соответственно, матрица годовых грузопотоков между предприятиями и портами $Q = Q_{ij} = q_{ij}$ распадается на три элемента: два вектора (вектор-столбец, описывающий поставки из предприятий в некий контейнерный центр грузораспределения L_2 , т. е. $Q^r = Q_{iL_2}^r = q_{iL_2}^r$, и вектор-строку, описывающую поставки из некоего контейнерного центра грузораспределения L_1 в морские порты, т. е. $Q^p = Q_{L_1j}^p = q_{L_1j}^p$), и на значение отправок в УКП — $Q_{УКП} = Q_{L_1L_2}$. Тариф на перевозки партий груза между контейнерными центрами грузораспределения L_1 и L_2 в УКП определяется значением S . Объемы повагонных и маршрутных отправок рассчитываются в виде векторов аналогично предыдущим вариантам.

В случае конфигурации сети контейнерного грузораспределения, показанной на рис. 7, з, тарифы на повагонную и маршрутную отправки $C_{iL_1}^{train} > C_{iL_2}^{train}$ и $C_{iL_1}^{car} > C_{iL_2}^{car}$ в связи с меньшим расстоянием перевозок. Решение задачи для сети, показанной на рис. 7, з, предполагает следующие действия.

1. Вычисление объемов регулярных вывозов $V_{рег} = v_{iL_2per} = Q_i / \left(\frac{365}{T^{int}} \right) = q_i / \left(\frac{365}{t_i^{int}} \right)$.
2. Формирование вектора регулярных маршрутных отправок $V_{марш} = V_{iL_2 марш} = v_{iL_2 марш}$ при соблюдении условия $v_{iL_2per} \geq V$ и вектора регулярных повагонных отправок $V_{ваг} = V_{iL_2 ваг} = v_{iL_2 ваг}$ в случаях, когда $v_{iL_2per} < V$.

3. Определение значения $V_{\text{УКП}} = V_{L_1 L_2 \text{ УКП}} = Q_{L_1 L_2} = Q$.
4. Формирование векторов тарифов $C^{\text{train}} = C_{i L_2}^{\text{train}} = c_{i L_2}^{\text{train}}$ и $C^{\text{car}} = C_{i L_2}^{\text{car}} = c_{i L_2}^{\text{car}}$.
5. Вычисление вектора-столбца стоимости перевозок из заводов в контейнерный центр грузораспределения L_2 : $X = X_{i L_2} = x_{i L_2} = c_{i L_2}^{\text{car}} \cdot v_{i L_2 \text{ вар}} + c_{i L_2}^{\text{train}} \cdot v_{i L_2 \text{ марш}}$.
6. Вычисление значения стоимости перевозки груза между контейнерными центрами грузораспределения L_1 и L_2 в УКП: $S_{\text{УКП}} = S_{L_1 L_2 \text{ УКП}} = Q_{L_1 L_2} = S \cdot Q$.
7. Вычисление вектора-строки стоимости перевозок из контейнерного центра грузораспределения L_1 в морские порты $Y = Y_{L_1 j} = y_{L_1 j} = U_{L_1 j} \cdot q_j$.
8. Вычисление суммы векторов X , Y и значения S суммарной стоимости перевозок.
9. Вычисление вектора стоимости перевозки годовой партии от каждого завода $X_{\text{год}} = x_{i \text{ год}}$ и вычисление вектора стоимости доставки одного TEU от каждого завода $X_{\text{ТЕУ}} = x_{i \text{ ТЕУ}}$.

Анализ результатов имитационного моделирования

Для того чтобы продемонстрировать работу имитационной модели сетей контейнерного грузораспределения, рассмотрим несколько частных случаев со следующими начальными данными: значениями годового грузопотока от каждого предприятия-производителя Q , TEU; интервалами отправок грузовых партий T^{int} , сут; максимальной вместительностью контейнерного поезда V , TEU; тарифами на маршрутную отправку от предприятия к морскому или «сухому» порту C^{train} , руб./TEU; тарифами на повагонную отправку от предприятия к морскому или «сухому» порту C^{car} , руб./TEU; тарифами на маршрутную отправку от «сухого порта» к морскому порту U , руб./TEU; тарифами на маршрутную отправку между контейнерными центрами грузораспределения в составе УКП $S_{\text{УКП}}$, руб./TEU.

Для наглядности проведем рассуждения на конкретных примерах с известными финансовыми показателями, поскольку количественные характеристики позволят лучше продемонстрировать работу имитационной модели. Предположим, что задача состоит в нахождении максимально дешевого варианта доставки контейнеров между предприятиями-производителями и морскими портами, исходя из конфигураций системы, предложенных на рис. 7, а – рис. 7, з. В качестве морских портов для использования в модели выберем морские контейнерные терминалы в порту Санкт-Петербург — ОАО «Петролеспорт» и ЗАО «КТСП», обслуживаемые железнодорожными станциями Новый порт и Автово, а также терминал ОАО «УЛКТ», обслуживаемый станцией Лужская. В качестве грузоотправителей для наглядности выберем четыре предприятия в глубине территории Российской Федерации — в городах Сегежа (ст. Сегежа), Кондопога (ст. Нигозеро), Нижнекамск (ст. Биклянь) и Нижний Новгород (ст. Правдинск). В качестве припортового центра контейнерного грузораспределения — «сухого порта», выбрана станция Шушары в Санкт-Петербурге, тогда как в качестве внутреннего центра контейнерного грузораспределения выбрана станция Киров. Железнодорожные тарифы для использования в модели рассчитаем с помощью промышленного комплекса ЭТРАН.

Пример 1. Весь годовой грузопоток от каждого предприятия достается полностью каждому порту в отдельности, а интервал отправок минимальный — еженедельная отправка грузовой партии, соответственно: значения годового грузопотока от каждого предприятия-производителя Q составляют по 7000 TEU в каждый порт; интервал отправок грузовых партий из каждого предприятия T^{int} , 7 сут.; максимальная вместительность контейнерного поезда V , 120 TEU.

Пример 2. Весь годовой грузопоток от каждого предприятия распределяется по всем трем портам в соотношении 3 : 3 : 1, интервал отправок остается минимальным — еженедельная отправка грузовой партии, соответственно: значения годового грузопотока от каждого предприятия-производителя Q составляют по 3000 TEU в порты 1 и 2, а также по 1000 TEU в порт 3; интервал отправок грузовых партий из каждого предприятия T^{int} , 7 сут.; максимальная вместительность контейнерного поезда V , 120 TEU.

Пример 3. Весь годовой грузопоток от каждого предприятия достается полностью каждому порту в отдельности, а интервал отправок максимальный — отправка грузовой партии в конце

каждой третьей недели, соответственно: значения годового грузопотока от каждого предприятия-производителя Q составляют по 7000 TEU в каждый порт; интервал отправок грузовых партий из каждого предприятия T^{int} , 19 сут; максимальная вместительность контейнерного поезда V , 120 TEU.

Пример 4. Весь годовой грузопоток от каждого предприятия распределяется по всем трем портам в соотношении 3 : 3 : 1, а интервал отправок максимальный — отправка грузовой партии в конце каждой третьей недели, соответственно: значения годового грузопотока от каждого предприятия-производителя Q составляют по 3000 TEU в порты 1 и 2, а также по 1000 TEU в порт 3; интервал отправок грузовых партий из каждого предприятия T^{int} , 19 сут.; максимальная вместительность контейнерного поезда V , 120 TEU.

Сведем полученные результаты моделирования в общий рисунок для удобства сравнения. Общая стоимость доставки годового грузопотока Q для всех четырех предприятий-производителей с использованием различных сетей грузораспределения составит, руб.:

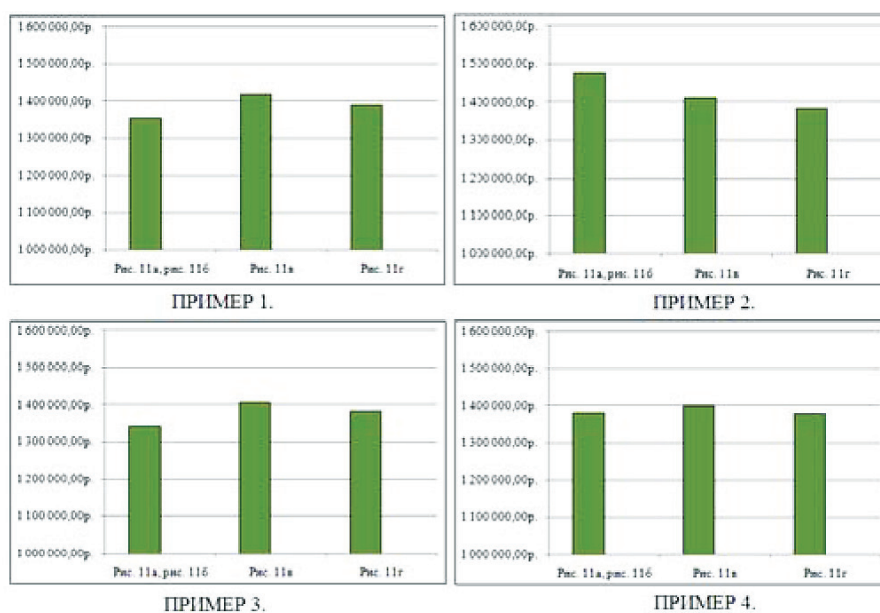


Рис. 8. Сравнительная гистограмма для примеров 1 – 4

Выводы

1. Структура глобальных контейнерных сетей транспортировки характеризуется высокой динамикой развития и калейдоскопической изменчивостью.
2. Все большее значение в планировании развития портов и терминалов принимает концепция не реактивного, а проактивного поведения.
3. Предугадывание возможных тенденций развития и оценка вероятности их реализации требует глубинного понимания движущих механизмов развития современной транспортной системы.
4. Некоторые из этих механизмов описаны в данной статье — наряду с проблемами, которые ставит современная транспортная индустрия перед руководством портов и терминалов.
5. Имитационное моделирование позволяет определить те начальные условия, при которых та или иная сеть контейнерного грузораспределения будет наиболее эффективна с точки зрения затрат на организацию перевозки.
6. Сети контейнерного грузораспределения, не использующие элементы «сухих портов», являются эффективными с точки зрения затрат на организацию перевозки только в случаях больших интервалов между отправлениями (более 14 сут.) и ориентации на каждый конкретный порт в отдельности.

7. В случаях, когда небольшие интервалы отправок исключают возможность длительное время накапливать груз в адрес одного порта, наиболее эффективной с точки зрения затрат на организацию перевозки для каждого предприятия является схема с использованием двух консолидирующих распределительных узлов — припортового и внутреннего.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов А. Л. Морские и сухопутные порты в новой мировой системе грузораспределения / А. Л. Кузнецов // Эксплуатация морского транспорта. — 2009. — № 1. — С. 9–12.
2. Щербанин Ю. А. Контейнерные перевозки. Настоящее и будущее / Ю. А. Щербанин // Логистика и управление. — 2014. — № 16 (36). — С. 18–23.
3. Погодин В. А. Пустопорожняя логистика: только в России? / В. А. Погодин, И. В. Серова, А. Л. Кузнецов // Терминал. — 2004. — № 4 (44). — С. 58–59.
4. Кузнецов А. Л. Транспорт России как часть мировой системы / А. Л. Кузнецов, О. И. Титберия // Морские порты России. — 2002. — № 5 (33). — С. 18–20.
5. Степанов А. Л. Проектирование морских терминалов / А. Л. Степанов, А. Л. Кузнецов, О. И. Титберия // Терминал. — 2002. — № 4–5 (34–35). — С. 26–31.
6. Щербакова-Слюсаренко В. Н. Концепция сухих портов в мире и в Российской Федерации / В. Н. Щербакова-Слюсаренко // Материалы 2-й Межвузовской науч.-практ. конф. — СПб.: Изд-во ГУМРФ, 2014. — С. 76–89.
7. Галин А. В. Сухие порты как часть транспортной инфраструктуры. Направления развития / А. В. Галин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2014. — № 2 (24). — С. 87–92.
8. Кузнецов А. Л. Показатели производительности на практике / А. Л. Кузнецов, В. Н. Щербакова-Слюсаренко // Морские порты. — 2014. — № 10 (121). — С. 24–28.
9. Щербакова-Слюсаренко В. Н. Базовая модель для оценки экономической эффективности контейнерных терминалов на основе анализа логистических процессов / В. Н. Щербакова-Слюсаренко // Транспортное дело России. — 2013. — № 1. — С. 55–57.
10. Инфраструктура порта и ее влияние на конкурентоспособность контейнерных перевозок / В. А. Погодин, О. Парикка, И. В. Серова [и др.] // Контейнерный бизнес. — 2007. — № 4 (10). — С. 70–73.
11. Кузнецов А. Л. Генезис агентного имитационного моделирования в ходе развития методов технологического проектирования портов и терминалов / А. Л. Кузнецов // Эксплуатация морского транспорта. — 2009. — № 4. — С. 3–7.
12. Кузнецов А. Л. Формализация задачи выбора транспортно-технологической схемы контейнерного терминала / А. Л. Кузнецов, О. И. Титберия // Труды Междунар. науч.-практ. конф. KDS-2001 «Знание — диалог — решение». — СПб.: Лань, 2001. — С. 409–415.
13. Ковалев Р. В. Введение в моделирование динамики механических систем / Р. В. Ковалев, Д. В. Даниленко // САПР и графика. — 2008. — № 4. — С. 26–31.
14. Кириченко А. В. Обоснование исходных данных при моделировании вывоза контейнеров из порта на тыловой терминал с применением технологии «блок-трейн» / А. В. Кириченко, М. О. Малыхин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2015. — № 4 (32). — С. 22–30.
15. Горынцев М. Н. Имитационное моделирование порта Тамань / М. Н. Горынцев // Материалы 2-й Межвузовской науч.-практ. конф. — СПб.: Изд-во ГУМРФ, 2014. — С. 35–43.

CONTAINER DISTRIBUTION NETWORKS MODELING

The article is devoted to the genesis, evolution and container distribution networks modeling. Main causes and factors that bring to life the processes of cargo distribution networks formation are analyzed — from the development of the primary links between the consignees and ports up to the full routing shipments of goods through hinterland cargo distribution centers. The main goal of the research is to define the relations between the shipping costs and periods of shipping or transshipment points in different market and distribution conditions. This goal can be achieved with the help of simulation modeling. The article contains full description of container distribution

networks model. The article also contains practical analysis of modeling results and main conclusions about different types of cargo distribution networks based on various market and distribution conditions.

Key words: value added logistics, containers, logistics, container shipping, cargo distribution centers, simulation.

REFERENCES

1. Kuznetsov, A. L. "Sea and dry ports in the new world cargo distribution system." *Exploatatsiya morskogo transporta* 1 (2009): 9-12.
2. Shcherbanin, J. K. "Container Shipping. Present and Future." *Logistics and Management* 16(36) (2014): 18-23.
3. Pogodin, V. A., I. V. Serova, and A. L. Kuznetsov. "Pustoporozhnyaya logistica: tolko v Rossii?" *Terminal* 4(44) (2004): 58-59.
4. Kuznetsov, A. L., and O. I. Titberiya. "Transport Rossii kak chast mirovoj sistemy." *Morskie porty Rossii* 5(33) (2002): 18-20.
5. Stepanov, A. L., A. L. Kuznetsov, and O. I. Titberiya. "Proektirovanie morskikh terminalov." *Terminal* 4-5 (34-35) (2002): 26-31.
6. Shcherbakova-Slyusarenko, V. N. "Concepcia suhih portov v mire i v Rossiskoy federatsii." *Materiali vtoroi mezhvuzovskoi nauchno-practicheskoy konferencii*. - SPb.: Izd-vo GUMRF im adm. S.O. Makarova, 2014: 76-89.
7. Galin, A. V. "Dry ports as part of inland transport system. Directions of development." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O.Makarova* 2(24) (2014): 87-92.
8. Kuznetsov, A. L., and V. N. Shcherbakov-Slyusarenko. "Pokazatili proizvoditelnosti na practice." *Morskie porty* 10(121) (2014): 24-28.
9. Shcherbakova-Slyusarenko, V. N. "Basic model of assessment of economic efficiency of container terminal based on the logistic processes analyses." *Transport business in Russia* 1 (2013): 55-57.
10. Pogodin, V. A., Olli Parikka, I. V. Serov, and A. L. Kuznetsov. "Infrastructura porta i eye vliyanie na konkurentosposobnost containernyh perevozok." *Kontejnernyj biznes* 4(10) (2007): 70-73.
11. Kuznetsov, A. L. "Genesis of the agent simulation in development of methods of technological design of ports and terminals." *Exploatatsiya morskogo transporta* 4 (2009): 3-7.
12. Kuznetsov, A. L., and O. I. Titberiya. "Formalizacija zadachi vybora transportno-tehnologicheskoy shemy kontejnernogo terminala." *Trudi mezhdunarodnoi practicheskoi konferencii KDS-2001 "Znanie-dialog-reshenie"*. - SPb.: Lan, 2001: 409-415.
13. Kovalev, R. V., and D. V. Danilenko. "Vvedenie v modelirovanie dinamiki mehanicheskikh system." *SAPR i grafika* 4 (2008): 26-31.
14. Kirichenko, A. V., and M. O. Malihin. "Justification of the original data in the simulation of containers' carriage from sea terminal to dry port with the use of technology «block-train»." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O.Makarova* 4(32) (2015): 22-30.
15. Goryntsev, M. N. "Imitatsionnoye modelirovaniye porta Taman." *Materiali vtoroi mezhvuzovskoi nauchno-practicheskoy konferencii*. SPb.: Izd-vo GUMRF im adm. S.O. Makarova, 2014: 35-43.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Кузнецов Александр Львович,
доктор технических наук, доцент.
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»
thunder1950@yandex.ru
Павленко Сергей Сергеевич, аспирант.
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»
Научный руководитель:
Кузнецов Александр Львович, доктор технических наук, доцент
spavlenko90@mail.ru
Щербакова-Слюсаренко Виктория Николаевна, аспирант.
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»
Научный руководитель: Кузнецов Александр Львович, доктор технических наук, доцент
victorysch@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Kuznetsov Alexander Lvovitch,
Doctor of Engineering, associate professor
Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping
thunder1950@yandex.ru
Pavlenko Sergei Sergeyevich, postgraduate.
Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping
Supervisor: Kuznetsov Alexander Lvovitch, Doctor of Engineering, associate professor
spavlenko90@mail.ru
Scherbakova-Slyusarenko Victoria Nickolaevna, postgraduate.
Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping
Supervisor: Kuznetsov Alexander Lvovitch, Doctor of Engineering, associate professor
victorysch@mail.ru