

of this article is to find optimal correlation between capacity and loader race. Loader race reduced upto 18% and capacity of the warehouse is also declining upto 9% with using schemes proposed in the article. Calculations of such an warehouse were conducted in scientific literature in the first time.

Keywords: warehouse, storage area, the parameters of the warehouse, capacity, loader race.

REFERENCES

1. Pushkareva, Lyudmila Vasilevna. "The analysis and the forecast of freight transportation by sea transport Russia." *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 6 (2014): 173–178.
2. Abramova, Valentina Nikolaevna. "State and prospects of development of sea and inland water transport of Russia." *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 1 (2014): 114–120.
3. Malikov, Oleg Borisovich. *Perevozki i skladirovanie tovarov v tsepyakh postavok: monografiya*. M.: Uchebno-metodicheskiy tsentr po obrazovaniyu na zheleznodorozhnom transporte, 2014.
4. Malikov, Oleg Borisovich. "O kompleksnom proektirovanii skladov." *Logistika* 2 (2014): 20–22.
5. Korovyakovskiy, Evgeniy Konstantinovich, and Yu. N. Panova. "Modelirovanie raboty sklada v tsepi postavok" *Analiz i prognozirovanie sistem upravleniya v promyshlennosti i na transporte: trudy XV Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii molodyh uchjonyh, studentov i aspirantov*. SPb: Peterburgskiy gos. un-t putej soobshheniya, 2013: 416–427.
6. Korovyakovskaya, Yuliya Vladimirovna, and O. B. Malikov. "Skladskie komplekсы как elementy logisticheskoy tsepi." *Vestnik inzhenerov-elektromekhanikov zheleznodorozhnogo transporta* 1 (2003): 222–224.
7. Tolmachev, Kirill Sergeevich. "Povyshenie effektivnosti avtomatizirovannoy sortirovki na sklade." *Logistika* 8 (2014): 30–34.
8. Pilipchuk, Sergey Fedorovich, and A. E. Radaev. "O proektirovanii sklada shtuchnykh грузов." *Logistika i upravlenie tsepyami postavok* 4 (2010): 21–33.
9. Pilipchuk Sergey Fedorovich, and A. E. Radaev. "Opredelenie potrebnoy vmestimosti sklada." *Logistika i upravlenie tsepyami postavok* 5 (2012): 19–25.
10. Ilesaliev, Daurenbek Ikhtiyarovich. "Ispol'zovanie razlichnykh skhem raspolozheniya prokhodov sklada tarно-shtuchnykh грузов." *Logistika: sovremennyye tendentsii razvitiya* 1 (2015): 174–176.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Илесалиев Дауренбек Ихтиярович —
аспирант.
ФГБОУ ВПО ПГУПС
ilesaliev@mail.ru
Коровяковский Евгений Константинович —
кандидат технических наук, доцент.
ФГБОУ ВПО ПГУПС
ekorsky@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Ilesaliev Daurenbek Ikhtiyarovich —
postgraduate.
Petersburg State Transport University
ilesaliev@mail.ru
Korovyakovskiy Evgeniy Konstantinovich —
Candidate of Engineering, associate professor.
Petersburg State Transport University
ekorsky@mail.ru

УДК 656.1

С. С. Павленко

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ МОРСКИХ И ТЫЛОВЫХ КОНТЕЙНЕРНЫХ ТЕРМИНАЛОВ

Статья посвящена вопросам технологического взаимодействия морских и тыловых контейнерных терминалов в рамках планирования работы наземных сетей грузораспределения. Основной задачей исследования получение необходимых сведений об уровне технологического взаимодействия морского и ты-

лового контейнерных терминалов в двухзвенной системе и параметрах складов терминалов, а также выработка механизма образования объема груза на складе морского и тылового контейнерного терминала. С помощью аналитических методов в работе выведены формулы объема грузов на складах морского и тылового терминалов, а также предложена формула для вычисления максимальной емкости складов терминалов в экспортно-импортном сообщении. Используются методы математического моделирования, с помощью которых построена имитационная модель двухзвенной системы: морской терминал – тыловой терминал, позволяющая оценить влияние неравномерности поступления транспортных средств на величину необходимого объема складов морского и тылового терминалов. В работе также получены данные о требуемом уровне технологического взаимодействия между терминалами. Результаты исследования могут быть использованы для планирования работы морского транспорта и инфраструктурных объектов морского порта.

Ключевые слова: контейнеры, морские порты, тыловые терминалы, планирование, имитационное моделирование, сети грузораспределения.

Введение

В последнее время вопросам технологического взаимодействия морских портов и тыловых терминалов уделяется активное внимание, количество научных трудов по этой тематике непрерывно растет. Однако несмотря на то, что некоторые базовые формулы и методики подвергаются многочисленным изменениям, задача оптимизации технологического взаимодействия и ёмкости складов в двухзвенной системе *морской порт — сухой порт* остается нерешенной [1]. В связи с этим нахождение решения и разработка соответствующих рекомендаций в общем виде с учетом возрастающей конкуренции между объектами транспортной инфраструктуры является актуальной задачей.

Морские и тыловые контейнерные терминалы объединяет сходная функциональная структура и назначение (передача груза между видами транспорта, согласование грузопотоков, коммерческое хранение, логистическая доработка). Тем не менее, каждый из видов терминалов имеет приоритетный функциональный профиль, определяющий особенности их структуры.

Общая постановка задачи

Рассмотрим морской контейнерный терминал как простейший функциональный элемент, служащий для стыковки входных и выходных потоков через него (рис. 1).

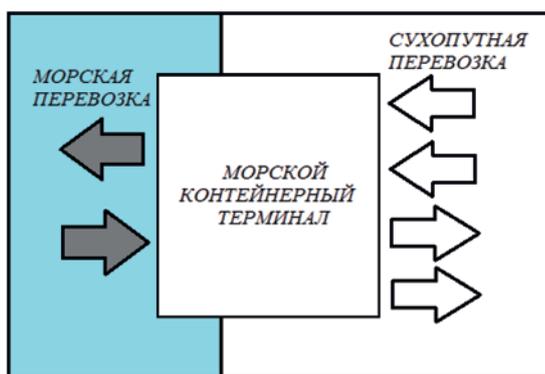


Рис. 1. Контейнерный терминал как логистический элемент

Экспортный грузопоток $Q^{\text{экс}}$, поступающий в порт сухопутным транспортом и обрабатываемый на наземном грузовом фронте порта (далее — НГФ), обозначим как $Q_{\text{НГФ}}(t)$, а убывающий из него морем и обрабатываемый на морском грузовом фронте порта (далее — МГФ) как $Q_{\text{МГФ}}(t)$. Значение объема хранимого на складе терминала груза в момент времени получается интегрированным выражением:

$$E_{\text{скл}}(t) = \int_0^t [Q_{\text{нгф}}(t) - Q_{\text{мгф}}(t)] dt + E_0, \quad (1)$$

где E_0 — произвольная константа, определяемая как начальный запас груза на складе.
 Характер подобной зависимости приведен на рис. 2 и 3.

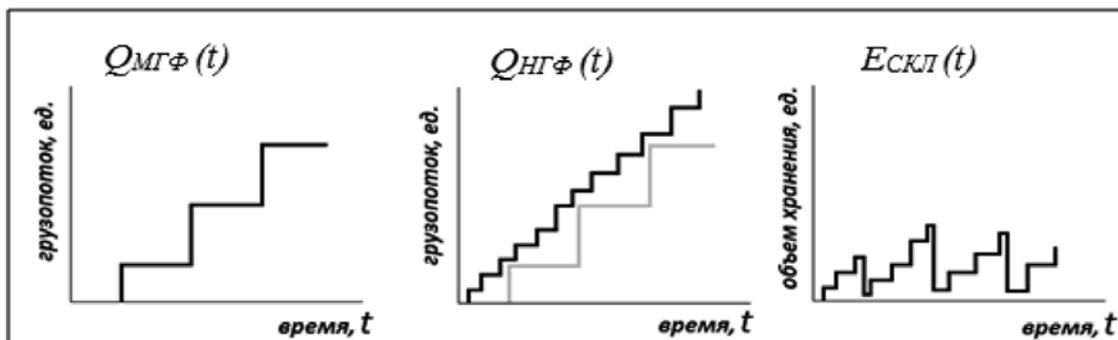


Рис. 2. Образование объема хранения груза на складе терминала

Завоз груза в порт обычно осуществляется как автомобильным транспортом (малыми грузовыми партиями), так и по железной дороге (средними партиями), а вывоз грузов — крупными судовыми партиями. Все вместе это приводит к характерным изменениям объемов складирования. Неравномерность завоза и вывоза приводит к избытку или дефициту груза на складе морского терминала. В связи с этим в порту требуется хранить груз в объеме, превышающем размер одной судовой партии. Т. е. на складе-терминале необходимо иметь возможность хранить избыточный запас, возникающий при задержке вывоза вследствие неприбытия транспортного средства (судна), а также накапливать «страховочный» запас, предназначенный для загрузки прибывшего ранее срока судна. Наконец, при годовом грузопотоке Q необходимость хранения груза на терминале в течение некоторого периода времени $T_{\text{хр}}$ (по требованиям госорганов или по поручению клиента) приводит к тому, что на складе образуется дополнительный постоянный запас E_0 .

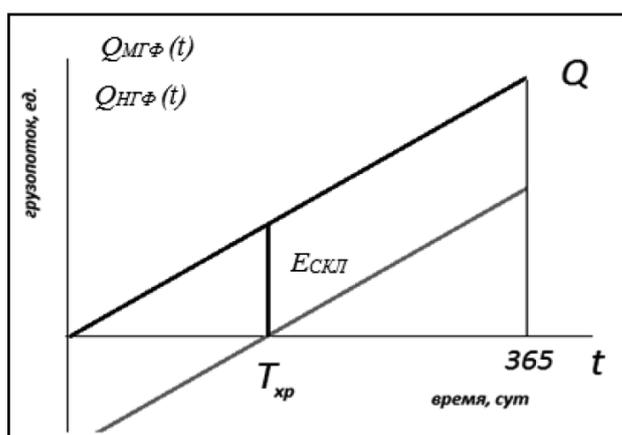


Рис. 3. Оценка объема хранения на складе порта

Объем груза на складе, обусловленный хранением $T_{\text{хр}}$, равен расстоянию по вертикали между средними линиями завоза и вывоза:

$$E_0 = \frac{T_{\text{хр}} \cdot Q_{\text{год}}}{365}. \quad (2)$$

Объединив выражения (1) и (2), можно получить выражение объема груза на складе:

$$E_{\text{скл}}(t) = \int_0^t [Q_{\text{НГФ}}(t) - Q_{\text{МГФ}}(t)] dt + \frac{T_{\text{xp}} Q_{\text{год}}}{365}. \quad (3)$$

Введение в цепь перевозки еще одного элемента — *сухой порт* — позволяет рационально распределить между морским и тыловым терминалами функции хранения избыточного запаса, возникающего при задержке вывоза вследствие неприбытия транспортного средства (судна), а также накопления страховочного запаса, предназначенного для загрузки прибывшего ранее срока судна [2].

В системе взаимодействия *морской порт* — *сухой порт*, кроме входящего в систему (непосредственно в сухой порт) сухопутного грузопотока $Q_{\text{НГФ}}(t)$ и исходящего морского грузопотока $Q_{\text{МГФ}}(t)$ появляется грузопоток из сухого порта в морской порт — $Q_{\text{СП}}(t)$. Двухзвенная система позволяет минимизировать требования, предъявляемые к объему склада в наиболее дефицитных прибрежных зонах за счет переноса коммерческого хранения в тыловые территории, а также предоставляет возможность частичной передачи в сухой порт функции буфера неравномерностей завоза и вывоза груза. Двухзвенная система позволяет разделить эти функции между морским и тыловым терминалами, оставив за первым исключительно функции обработки морских судов. Общая схема взаимодействия элементов двухзвенной системы приведена на рис. 4.

Поток из морского терминала в сухой порт может находиться в полном управлении оператора терминала (если для его реализации используются подъездные пути) или иметь те или иные внешние ограничения на вместимость транспортных средств и расписание их движения (если используются пути общего пользования оператора железнодорожных перевозок). Все три потока характеризуются соотношением непрерывности грузопотока:

$$\int_0^{365} Q_{\text{МГФ}} dt = \int_0^{365} Q_{\text{НГФ}} dt = \int_0^{365} Q_{\text{СП}} dt. \quad (4)$$

Различие размеров и несогласованность расписаний поступления грузовых партий на входе и на выходе элементов меняют характер своего действия на размеры склада. Если при экспортных отправлениях вывоз с морского терминала в двухзвенной системе остается неизменным, то ввоз экспортного груза на морской терминал теперь уже осуществляется промежуточным грузопотоком $Q_{\text{СП}}(t)$. Грузопоток на входе наземного терминала $Q_{\text{НГФ}}(t)$ остается неизменным, а вывоз из него характеризуется промежуточным потоком $Q_{\text{СП}}(t)$. Таким образом, абсолютное значение объема груза на складе морского порта определяется выражением

$$E_{\text{мор.скл}}(t) = \int_0^t [Q_{\text{СП}}(t) - Q_{\text{МГФ}}(t)] dt + \frac{T_{\text{xp}} Q_{\text{год}}}{365}, \quad (5)$$

тогда как объем значения объема груза на складе сухого порта можно представить в виде

$$E_{\text{наз.скл}}(t) = \int_0^t [Q_{\text{НГФ}}(t) - Q_{\text{СП}}(t)] dt + \frac{T_{\text{xp}} Q_{\text{год}}}{365}. \quad (6)$$

Если промежуточный поток $Q_{\text{СП}}$ находится под управлением оператора терминала и не имеет ограничений по размерам и частоте подач, то за счет его изменения можно решить любую задачу — от полного устранения хранения на морском терминале до полного исключения хранения на тыловом терминале. В целях разработки рекомендаций по формированию внутреннего грузопотока и распределению функций между звеньями транспортной цепи необходимо соблюдение следующих условий:

- уменьшение необходимой для организации хранения площади на наиболее дорогостоящей территории (снижение капитальных затрат);
- уменьшение парка и равномерное распределение интенсивности работы требуемого перегрузочного оборудования на морском терминале;
- возможность адекватной реакции на изменения размеров требуемых партий.

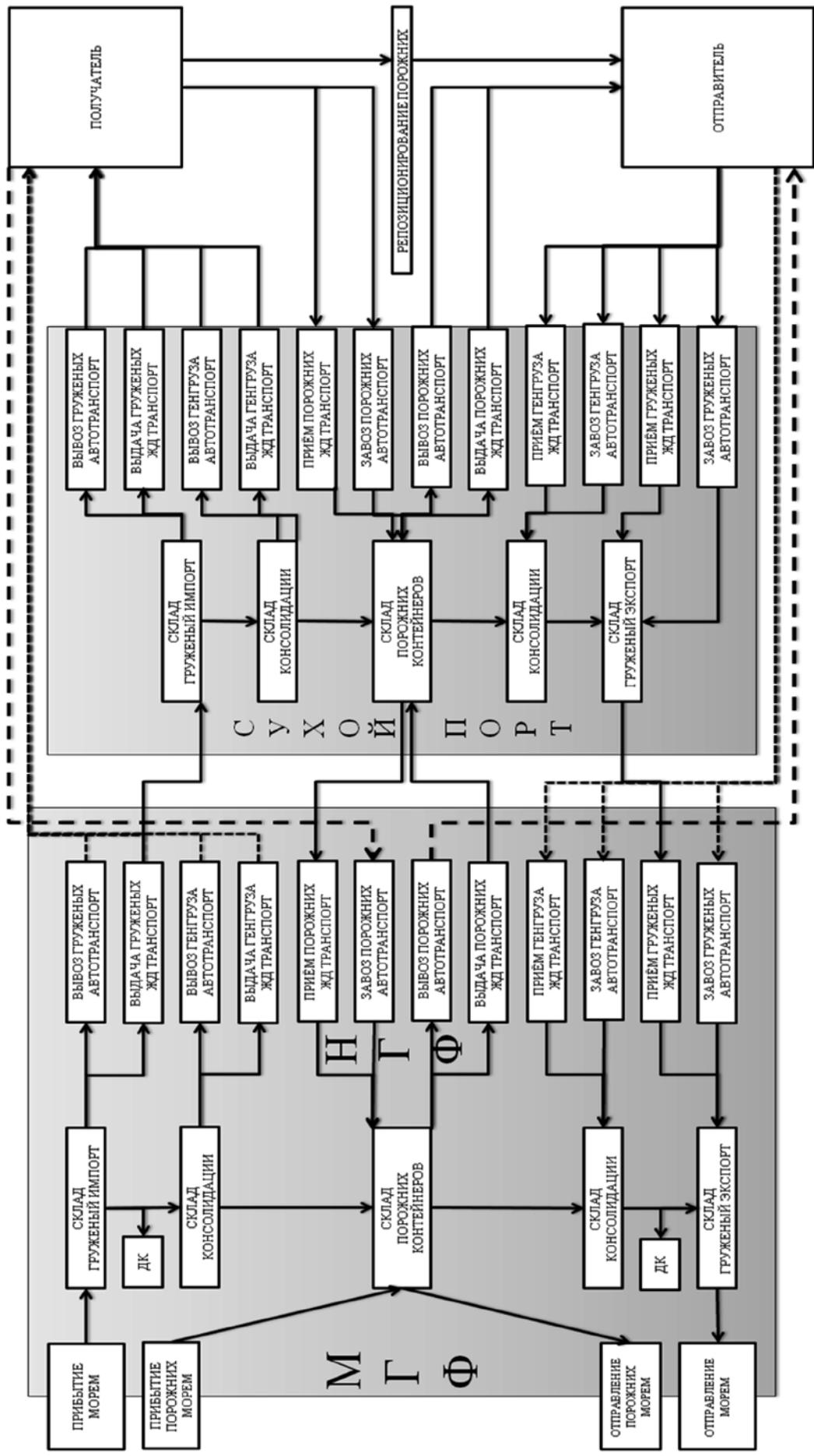


Рис. 4. Общая схема взаимодействия морского и тылового контейнерных терминалов

В связи с тем, что стоимость складирования груза на контейнерном терминале зависит от удельных расходов собственника терминала на содержание инфраструктуры, целесообразно далее перейти к определению емкости склада морского терминала $E_{\text{мор.скл}}$ и склада «сухого порта» $E_{\text{наз.скл}}$.

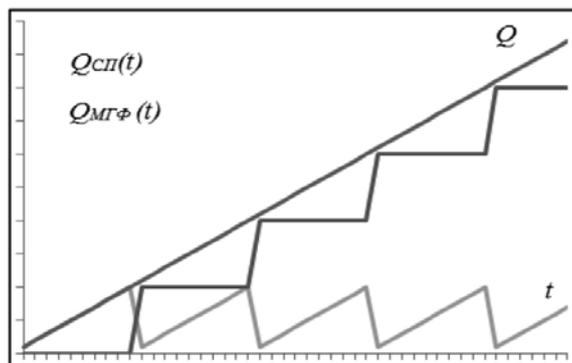


Рис. 5. Динамическая составляющая объема склада морского порта

Проанализировав приведенную на рис. 5 кривую динамической составляющей объема склада морского порта для экспортного грузопотока, можно увидеть, что при регулярном завозе и вывозе максимальные значения объема груза на складе не превышают объем судовой партии V . Следовательно, максимальную оценку вместимости морского контейнерного терминала дает следующее выражение:

$$E \leq V + \frac{Q_{\text{год}} T_{\text{xp}}}{365} = V + \frac{NVT_{\text{xp}}}{NT_{\text{суд}}} = V \left(\frac{T_{\text{xp}}}{T_{\text{суд}}} + 1 \right). \quad (7)$$

При этом полная передача функции коммерческого хранения в сухой порт, т. е. $T_{\text{xp}} = 0$, позволит уменьшить максимальную вместимость морского контейнерного терминала и даст следующее выражение:

$$E \leq V + \frac{Q_{\text{год}} \cdot T_{\text{xp}}}{365} = V. \quad (8)$$

Для тылового контейнерного терминала ситуация будет схожей. При завозе железнодорожным транспортом входящий грузопоток $Q_{\text{нгф}}(t)$ на терминал будет характеризоваться объемом груза, доставляемым ускоренными контейнерными поездами (далее — УКП) — $V_{\text{укп}}$, тогда как вывоз груза со склада сухого порта будет характеризоваться объемом груза, вывозимым блок-трэйнами $V_{\text{бт}}$.

Значение $V_{\text{укп}} > V_{\text{бт}}$, так как УКП является магистральной линией в рассматриваемой сети, тогда как блок-трэйны выполняют роль фидеров. Построим кривую динамической составляющей объема контейнерного склада сухого порта (рис. 6).

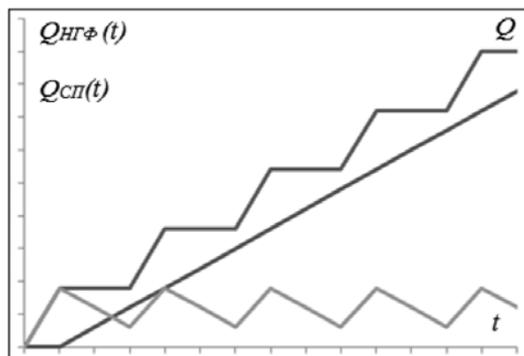


Рис. 6. Динамическая составляющая объема склада тылового терминала

Проанализировав приведенную кривую динамической составляющей объема склада сухого порта, можно увидеть, что при регулярном вывозе максимальные значения объема груза на складе не превышают объем партии УКП — $V_{\text{УКП}}$. Следовательно, максимальная вместимость тылового контейнерного терминала для обработки грузопотока дает следующее выражение:

$$E \leq V_{\text{УКП}} + \frac{Q_{\text{год}} T_{\text{xp}}}{365} = V_{\text{УКП}} + \frac{NV_{\text{УКП}} T_{\text{xp}}}{NT_{\text{УКП}}} = V_{\text{УКП}} \left(\frac{T_{\text{xp}}}{T_{\text{УКП}}} + 1 \right). \quad (9)$$

Полная передача функции коммерческого хранения в «сухой порт» из морского порта, т. е. $T_{\text{xp}} > 0$, также потребует от склада возможности хранить и судовую партию V . Тогда

$$E \leq V_{\text{УКП}} + \frac{NV_{\text{УКП}} T_{\text{xp}}}{NT_{\text{УКП}}} + V = V + V_{\text{УКП}} \left(\frac{T_{\text{xp}}}{T_{\text{УКП}}} + 1 \right). \quad (10)$$

Далее предлагается рассмотреть случай одновременного поступления в двухзвенную систему экспортного $Q^{\text{экс}}$ и импортного $Q^{\text{имп}}$ грузопотоков. Данные грузопотоки можно условно разделить на увеличивающие груз на складах (завоз экспортного груза через НГФ сухого порта, завоз экспортного груза из сухого порта на склад морского порта, прием импортного груза через МГФ морского порта, приём импортного груза из морского порта в сухой порт) и на уменьшающие груз на складах (вывоз экспортного груза через МГФ морского порта, вывоз экспортного груза из сухого порта на склад морского порта, вывоз импортного груза из морского порта на склад сухого порта, вывоз импортного груза через НГФ сухого порта). В общем виде их можно записать в виде:

- для морского склада: $q_{\text{СП}}^{\text{экс}} - q_{\text{МГФ}}^{\text{экс}} + q_{\text{МГФ}}^{\text{имп}} - q_{\text{СП}}^{\text{имп}}$,
- для склада сухого порта: $q_{\text{НГФ}}^{\text{экс}} - q_{\text{СП}}^{\text{экс}} + q_{\text{СП}}^{\text{имп}} - q_{\text{НГФ}}^{\text{имп}}$.

Рассуждения, аналогичные приведенным ранее, позволяют аналитически вывести значение базовой вместимости склада для экспортного и импортного направлений в отношении контейнерных складов морского и тылового терминалов:

$$E_{\text{мор.скл}}(t) = \int_0^t [q_{\text{СП}}^{\text{экс}}(t) - q_{\text{МГФ}}^{\text{экс}}(t) + q_{\text{МГФ}}^{\text{имп}}(t) - q_{\text{СП}}^{\text{имп}}(t)] dt + \frac{T_{\text{xp}} Q_{\text{год}}}{365}; \quad (11)$$

$$E_{\text{тыл.скл}}(t) = \int_0^t [q_{\text{НГФ}}^{\text{экс}}(t) - q_{\text{СП}}^{\text{экс}}(t) + q_{\text{СП}}^{\text{имп}}(t) - q_{\text{НГФ}}^{\text{имп}}(t)] dt + \frac{T_{\text{xp}} Q_{\text{год}}}{365}. \quad (12)$$

Для получения необходимых данных для определения характеристик склада морского терминала $E_{\text{мор.скл}}$ и тылового терминала $E_{\text{тыл.скл}}$ при одновременном поступлении в двухзвенную систему экспортного и импортного грузопотоков предлагается использовать имитационное моделирование [3] – [9].

Описание предполагаемой модели

Пусть имеются две независимые транспортные системы: однозвенная, состоящая из морского порта, и двухзвенная, состоящая из морского порта и сухого порта. Также пусть имеется заданный экспортный грузопоток $Q^{\text{экс}}$ и импортный грузопоток $Q^{\text{имп}}$, реализуемые поступлением в систему судов с интервалом $T_{\text{суд}}$ и УКП с интервалом $T_{\text{УКП}}$.

УКП характеризуются объемом груза — $V_{\text{УКП}}$, морские суда характеризуются объемом груза V , блок-трэйны, работающие на линии между портом и «сухим портом» характеризуются объемом груза $V_{\text{БТ}}$. МГФ характеризуется производительностью $P_{\text{МГФ}}$, TEU/сут, тогда как НГФ характеризуется производительностью $P_{\text{НГФ}}$, УКП/сут. Производительность погрузочного фронта для технического грузопотока морским и тыловым терминалами характеризуется производительностью $P_{\text{СП}}$, БТ/сут.

Формальное описание логики модели

Вначале рассмотрим двухзвенную транспортную систему, состоящую из морского порта и «сухого порта»:

Шаг 0. Груз на складах морского и тылового контейнерных терминалов отсутствует. Временной интервал в модели принят равным 1 сут.

Шаг 1. Железнодорожным транспортом (УКП) экспортный груз поступает на тыловой контейнерный терминал через НГФ и находится на нем в течение срока хранения $T_{\text{хр}}$.

Шаг 2. В случае запланированного в ближайшие 10 суток подхода судна груз с помощью системы блок-трэйнов доставляется партиями размером $V_{\text{БТ}}$ на контейнерный склад морского терминала, где выгружается на склад в случае отсутствия судна у причала в ожидании прихода судна. Если судно стоит у причала и готово принимать экспортный груз, то груз перегружается на судно по прямому варианту.

Шаг 3. Приход судна происходит в интервале $T_{\text{суд}}$. После прихода судна с его борта через МГФ полностью выгружается импортный груз, который помещается на контейнерный склад морского терминала.

Шаг 4. После окончания выгрузки импортного груза в объеме V на МГФ начинается погрузка экспортного груза на судно (причем размер партии экспортного груза может быть как меньше, так и больше размеров импортной, но не более максимальной вместимости судна) для отправки грузополучателям морем.

Шаг 5. После окончания выгрузки первой же партии импортного груза, больше или равной $V_{\text{БТ}}$, данная партия погружается в блок-трэйны и в эти же сутки отправляется на склад «сухого порта».

Шаг 6. Железнодорожным транспортом импортный груз поступает на контейнерный склад тылового терминала через и находится там в течение некоего срока хранения $T_{\text{хр}}$.

Шаг 7. После того как объем груза на складе «сухого порта» будет больше или равен $V_{\text{УКП}}$, то партия импортного груза $V_{\text{УКП}}$ грузится в УКП и отправляется грузополучателям.

Шаг 8. Модель состоит из серии в 365 интервалов, каждый из которых равен одним суткам. Далее рассмотрим однозвенную транспортную систему:

Шаг 0. Груз на складе морского порта отсутствует. Временной интервал в модели также принят равным 1 суткам.

Шаг 1. Железнодорожным транспортом (УКП) экспортный груз поступает на контейнерный склад морского через НГФ и находится там в течение некоего срока хранения $T_{\text{хр}}$.

Шаг 2. Приход судна происходит в интервале $T_{\text{суд}}$. После прихода судна с его борта через МГФ полностью выгружается импортный груз, который помещается на контейнерный склад морского терминала.

Шаг 4. После окончания выгрузки импортного груза в объеме V на МГФ начинается погрузка экспортного груза на судно (причем размер партии экспортного груза может быть как меньше, так и больше размеров импортной, но не более максимальной вместимости судна) для отправки грузополучателям морем.

Шаг 5. После окончания выгрузки первой же партии импортного груза, больше или равной $V_{\text{УКП}}$, партия импортного груза $V_{\text{УКП}}$ грузится в УКП и отправляется грузополучателям.

Шаг 8. Модель состоит из серии в 365 интервалов, каждый из которых равен 1 сут.

Полученная модель позволяет провести исследование основных параметров технологического взаимодействия морского и тылового контейнерных терминалов в однозвенной и двухзвенной системах. С помощью модели можно получить данные о динамике ввоза/вывоза импортного и экспортного грузов на склады, максимальном и минимальном объеме груза на складах в каждый момент времени.

Далее проведем несколько экспериментов с моделью.

Эксперимент 1. Пусть экспортный грузопоток $Q^{\text{эксп}}$ составит 30000 TEU/год, импортный грузопоток $Q^{\text{имп}}$ составит 45000 TEU/год. Потоки реализуются равномерным поступлением в систему морских судов с интервалом 10 сут и УКП с интервалом 3 сут. Срок хранения груза составит 7 сут.

Полученные результаты моделирования приведены на рис. 7 – 9:

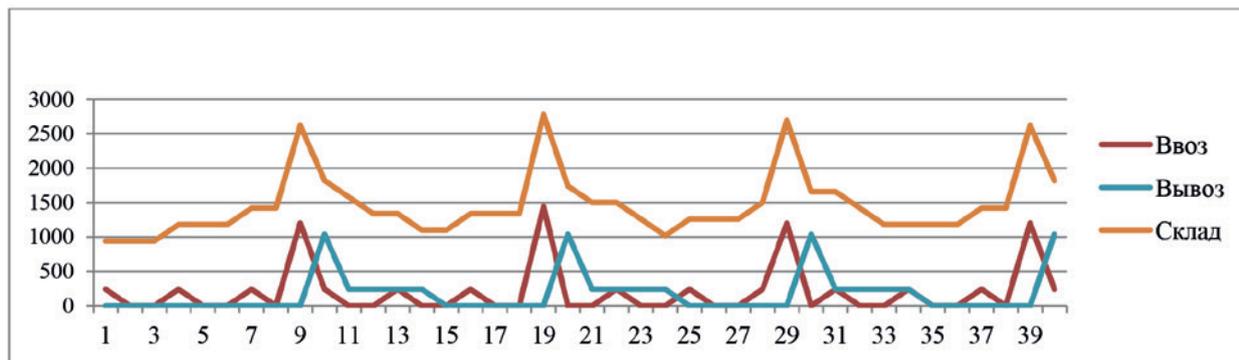


Рис. 7. Динамика изменения объема груза на складе морского порта в однозвенной системе

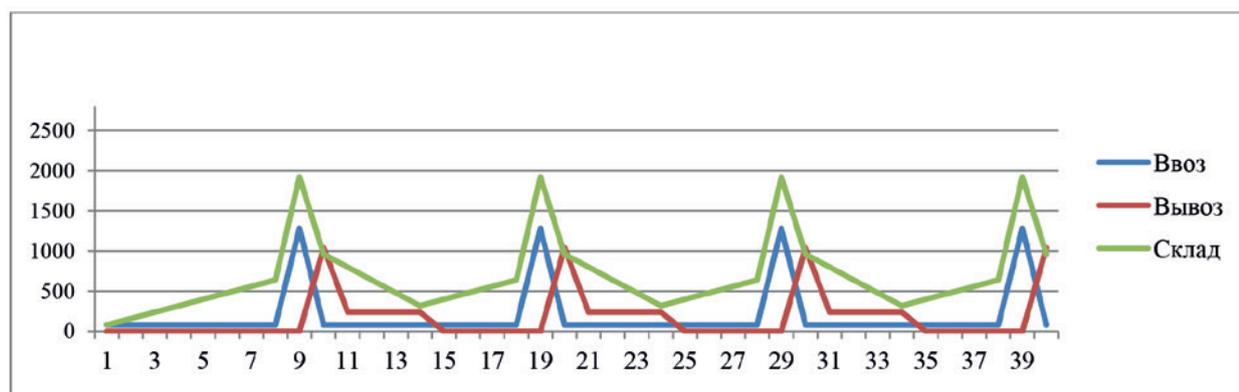


Рис. 8. Динамика изменения объема груза на складе морского порта в двухзвенной системе

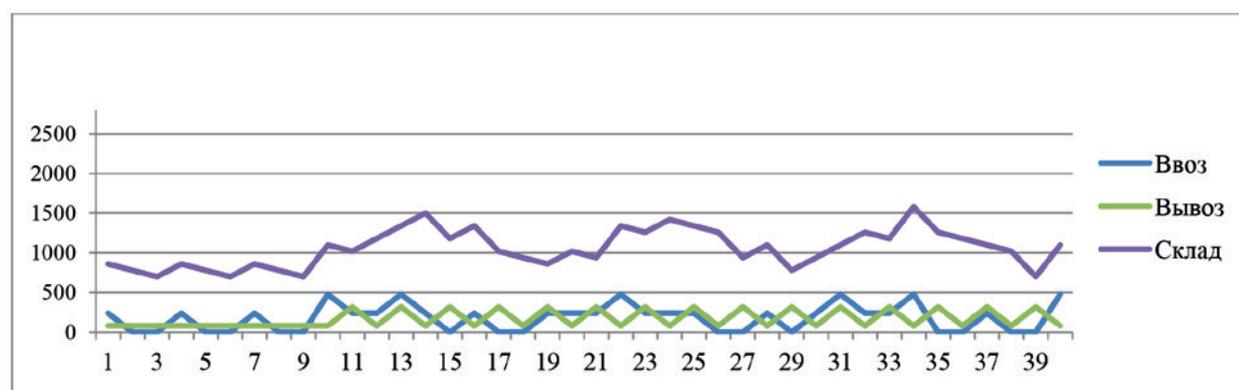


Рис. 9. Динамика изменения объема груза на складе «сухого порта» в двухзвенной системе

Анализ результатов первого эксперимента позволяет сделать следующие выводы:

1. Системы успешно справляются с поступлением экспортного и импортного груза. При этом системы обслуживают 38 судозаходов и 122 поступления УКП. Работа в двухзвенной системе осуществляется посредством ежедневной работы от одного до трех блок-трейнов.

2. В однозвенной системе при заданных исходных данных среднее количество контейнеров на складе морского терминала составляет 1489 TEU, тогда как в двухзвенной системе — 710 TEU (при этом среднее количество контейнеров на складе тылового терминала составляет 1129 TEU).

3. В однозвенной системе при заданных исходных данных максимальное количество контейнеров на складе морского терминала составляет 2700 TEU ($> 2V$), тогда как в двухзвенной системе — 1920 TEU ($< 2V$), что на 28 % меньше.

Эксперимент 2. Пусть экспортный грузопоток $Q^{экп}$ также составит 30000 TEU/год, импортный грузопоток $Q^{имп}$ составит 45000 TEU/год. Однако поступление в систему морских судов будет неравномерным — с произвольным интервалом 5 – 15 сут, тогда как УКП будут поступать равномерно с интервалом, равным трое суток. Срок хранения груза также составит 7 сут.

Полученные результаты моделирования приведены на рис. 10 – 12.

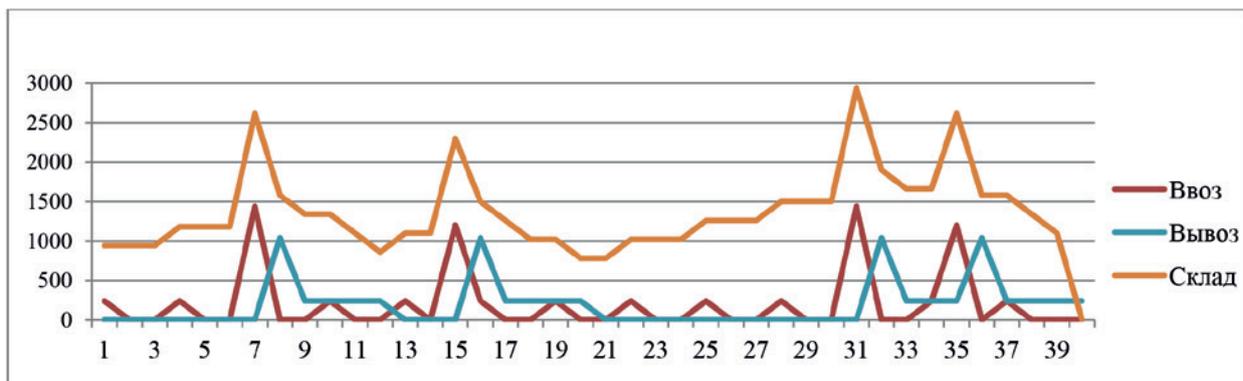


Рис. 10. Динамика изменения объема груза на складе морского порта в однозвенной системе

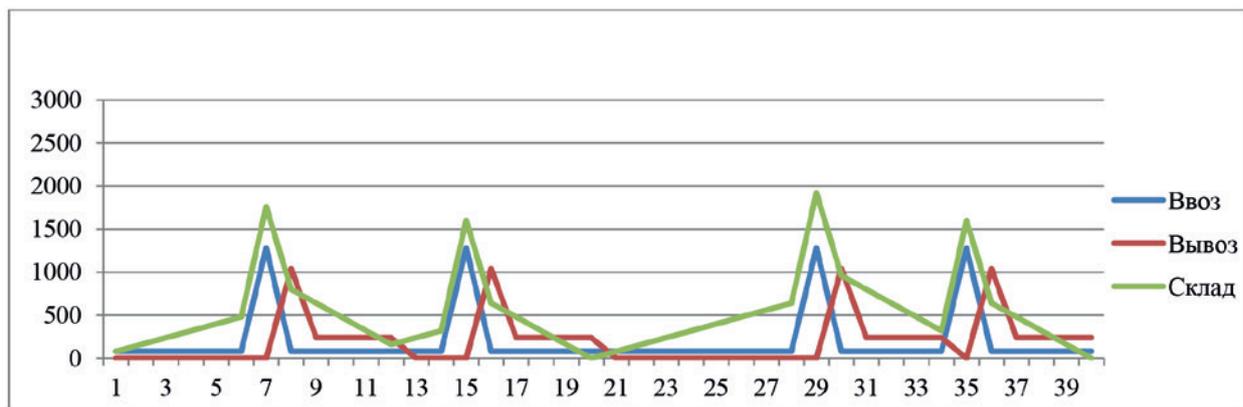


Рис. 11. Динамика изменения объема груза на складе морского порта в двухзвенной системе

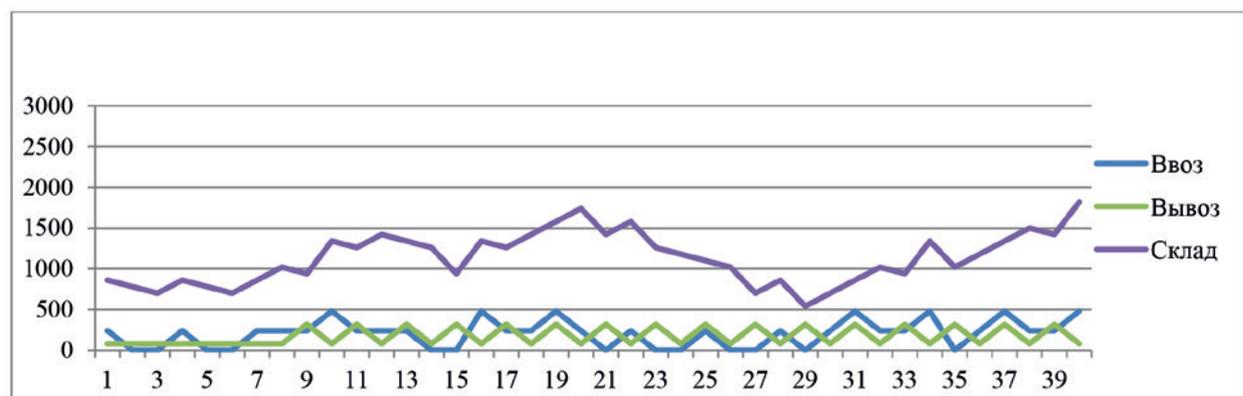


Рис. 12. Динамика изменения объема груза на складе сухого порта в двухзвенной системе

Анализ результатов второго эксперимента позволяет сделать следующие выводы.

1. Системы успешно справляются с поступлением экспортного и импортного груза, при этом системы обслуживают 38 судозаходов и 122 поступления УКП. Работа в двухзвенной системе осуществляется посредством ежедневной работы от двух до трех блок-трейнов.

2. В однозвенной системе при заданных исходных данных среднее количество контейнеров на складе морского терминала составляет — 1344 TEU, тогда как в двухзвенной системе — 507 TEU (при этом среднее количество контейнеров на складе тылового терминала составляет — 1102 TEU).

3. В однозвенной системе при заданных исходных данных максимальное количество контейнеров на складе морского терминала составляет — 2940 TEU ($> 2V$), тогда как в двухзвенной системе значение не изменилось — 1920 TEU ($< 2V$), что на 35 % меньше.

Проведенные эксперименты и имитационное моделирование позволяет оценить максимальную требуемую вместимость склада морского и тылового контейнерных терминалов при обработке экспортного и импортного контейнеропотоков. При полной передаче функции коммерческого хранения в тыловой терминал (т. е. для морского склада $T_{xp} = 0$) максимальная необходимая вместимость морского контейнерного терминала и даст следующее выражение:

$$E \leq 2(V + \frac{Q_{\text{год}} T_{xp}}{365}) = 2V. \quad (13)$$

Полная передача функции коммерческого хранения в «сухой порт» из морского порта (т.е. для тылового терминала $T_{xp} > 0$) потребует от склада возможности хранить как судовую партию V , так и сглаживать колебания, возникающие при неравномерном подходе морских судов $\Delta T_{\text{суд}}$. Таким образом, максимальная емкость склада тылового контейнерного терминала будет выражаться в виде

$$E \leq 2(V_{\text{УКП}} + \frac{NV_{\text{УКП}} T_{xp}}{NT_{\text{УКП}}}) + V + V_{\text{БТ}} \Delta T_{\text{суд}} = 2(V + V_{\text{УКП}} \left(\frac{T_{xp}}{T_{\text{УКП}}} + 1 \right)) + V_{\text{БТ}} \Delta T_{\text{суд}}. \quad (14)$$

Проведенные эксперименты показывают, что введение в цепь транспортировки дополнительного звена — тылового контейнерного терминала — приводит к увеличению суммарного размера складов — $E_{\text{мор.скл}} + E_{\text{тыл.скл}}$ по сравнению со складом однозвенной системы $E_{\text{скл}}$, т. е. $E_{\text{мор.скл}} + E_{\text{тыл.скл}} > E_{\text{скл}}$. Основная причина — необходимость компенсировать две пары неравномерностей размеров партий и поступления транспортных средств.

Однако размер непосредственно склада морского терминала $E_{\text{мор.скл}}$ в двухзвенной системе оказывается на 35 % меньше склада однозвенной системы $E_{\text{скл}}$, т. е. $E_{\text{мор.скл}} < E_{\text{скл}}$, и поскольку стоимость земли и требования к системе складирования в границах порта обычно выше по сравнению с территорией, находящейся вне границ порта и даже города, то удельная стоимость хранения груза на этих складах также будет различаться. Можно выразить стоимость складирования для однозвенной системы как $C_1 = c_m E_{\text{скл}}$ и двухзвенной системы $C_2 = c_m E_{\text{мор.скл}} + c_l E_{\text{тыл.скл}}$ (где c_m — удельная стоимость хранения на морском складе как, а c_l — на складе тылового терминала). Если $C_1 > C_2$, то вариант использования в транспортной цепи двухзвенной системы: морского и тылового контейнерного терминала, является более предпочтительным [10].

Выводы

1. Функционирование логистического элемента — морского контейнерного терминала — в однозвенной системе приводит к появлению избытков или дефицита грузов на складе. В связи с этим в порту необходимо наличие возможности хранения избыточного запаса, возникающего при задержке вывоза вследствие неприбытия транспортного средства (судна), а также накопления «страховочного» запаса, предназначенного для загрузки судна, прибывшего ранее срока.

2. В случае организации функционирования двухзвенной транспортной цепочки морской терминал — тыловой терминал, оператор морского терминала получает возможность уменьшить площади для хранения на дорогостоящей портовой территории, уменьшить парк и равномерно распределить работу перегрузочного оборудования на терминале, а также получает возможность адекватно реагировать на изменения размеров и частоты подач требуемых партий.

3. В случае управления технологическими каналами взаимодействия оператор морского терминала получает возможность решать любую задачу, вплоть до полного устранения хранения на морском терминале.

4. Использование аналитических методов позволяет вывести значения базовой вместимости складов морского и тылового терминалов для экспортного и импортного направлений.

5. Имитационное моделирование позволяет оценить влияние неравномерности поступления транспортных средств на величину необходимого объема складов морского и тылового терминалов, а также получить данные о требуемом уровне технологического взаимодействия между терминалами, что в итоге может быть использовано для планирования работы транспорта и инфраструктурных объектов.

6. В случае, когда удельная стоимость хранения на морском складе значительно выше таковой на тыловом складе, то вариант использования в транспортной цепи двухзвенной системы: морского и тылового контейнерного терминала, является более предпочтительным.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов А. Л. Обоснование концепции «сухого порта» / А. Л. Кузнецов, В. Н. Щербакова-Слюсаренко // Транспортное дело России. — 2013. — № 4. — С. 77–80.
2. Кузнецов А. Л. Методология технологического проектирования современных контейнерных терминалов. — СПб.: Феникс, 2008. — 132 с.
3. Китиков А. Н. Расчет морского фронта методами имитационного моделирования / А. Н. Китиков, А. Л. Кузнецов, И. А. Русинов // Эксплуатация морского транспорта. — 2013. — № 2 (72). — С. 3–6.
4. Кузнецов А. Л. Расчет вместимости портового склада с учетом неравномерности работы смежного транспорта / А. Л. Кузнецов, В. А. Погодин, Я. Б. Спасский // Эксплуатация морского транспорта. — 2010. — № 4 (62). — С. 3–9.
5. Crainic T. G. Modeling dry-port-based freight distribution planning / T. G. Crainic, P. Dell'Olmo, N. Ricciardi, A. Sgalambro // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. — 2015. — № 55. — Pp. 518–534. DOI:10.1016/j.trc.2015.03.026.
6. Кузнецов А. Л. Имитационное моделирование работы порта с учетом дифференцированных метеоусловий / А. Л. Кузнецов, В. А. Погодин, Я. Б. Спасский // Эксплуатация морского транспорта. — 2011. — № 1 (63). — С. 3–8.
7. Кузнецов А. Л. Дискретно-событийное моделирование в задачах проектирования и эксплуатации автомобильных терминалов / А. Л. Кузнецов, С. В. Бобрышев, Я. Б. Спасский // Эксплуатация морского транспорта. — 2011. — № 2 (64). — С. 8–13.
8. Фетисов В. А. Исследование и реализация оптимального варианта работы портовой логистической системы с использованием имитационных моделей систем массового обслуживания / В. А. Фетисов, Н. Н. Майоров // Эксплуатация морского транспорта. — 2012. — № 3. — С. 3–7.
9. Schruben L. Simulation modeling with event graphs / L. Schruben // Communications of the ACM. — 1983. — Vol. 26. — № 11. — Pp. 957–963.
10. Бобрышев С. В. Методика решения общей задачи оптимизации технико-экономических параметров грузового терминала с помощью имитационного моделирования / С. В. Бобрышев, В. Н. Щербакова-Слюсаренко // Эксплуатация морского транспорта. — 2013. — № 2 (72). — С. 6–8.

SEA PORTS AND INLAND CONTAINER TERMINALS INTERACTION MODELING

Article is devoted to the process of interaction of marine and inland container terminals in the planning of cargo distributions networks operations. Based on the definition of the functions of inland container terminal in the study, a general functional block diagram of the interaction of marine container terminals and logistics is made. Analysis of the features and functions of the rear container terminals allowed identifying the main advantages and disadvantages of a two-tier system - marine terminal - inland terminal. Formula of the volume of goods in warehouses and logistical marine terminals with the help of analytical methods is made, as well as the proposed

formula for calculating the maximum storage capacity of terminals in the export-import traffic. Simulation model of the two-tier system - marine terminal - rear terminal is also made. The simulation model allows to estimate the impact of the uneven arrival of vehicles on the value of the necessary volume of warehouses and logistic marine terminals, as well as to obtain data on the required level of technological interaction between the terminals, which could eventually be used for the planning of marine transport and infrastructure of sea ports.

Keywords: containers, sea ports, inland terminal, transport plans, simulation modeling, cargo distribution systems.

REFERENCES

1. Kuznetsov, A. L. ., and V. N Shcherbakova-Slyusarenko. "Justification of «dry port» concept." *Transport business of Russia* 4 (2013): 77–80.
2. Kuznetsov, A. L. *Metodologia technologicheskogo proektirovaniya sovremennih containernih terminalov*. SPb.: Feniks, 2008.
3. Kitikov, A. N., A. L. Kuznetsov, and I. A. Rusinov. "Simulation techniques for the assessment of sea port front." *Jekspluatacija morskogo transporta* 2(72) (2013): 3–6.
4. Kuznetsov, A. L., V. A. Pogodin, and Y. B. Spasskiy. "Storage capacity calculation taking into account the irregularity of land transport operations." *Jekspluatacija morskogo transporta* 4 (2010): 3–9.
5. Crainic, Teodor Gabriel, Paolo Dell’Olmo, Nicoletta Ricciardi, and Antonino Sgalambro. "Modeling dry-port-based freight distribution planning." *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 55 (2015): 518–534. DOI:10.1016/j.trc.2015.03.026.
6. Kuznetsov, A. L., V. A. Pogodin, and Y. B. Spasskiy. "The simulation modeling of the port operations subject to differentiated weather conditions." *Jekspluatacija morskogo transporta* 1 (2011): 3–8.
7. Kuznetsov, A. L., S. V. Bobryshev, and Y. B. Spasskiy. "Discrete events simulation in the tasks of development and operations of the car terminals." *Jekspluatacija morskogo transporta* 2 (2011): 8–13.
8. Fetisov, V. A., and N. N. Maiorov. "Research and realization of an optimum variant of work of port logistical system, using imitating models of systems of mass service." *Jekspluatacija morskogo transporta* 3 (2012): 3–7.
9. Schruben, Lee. "Simulation Modeling with Event Graphs." *Communications of the ACM* 26.11: 957–963.
10. Bobryshev, S. V., and V. N. Shcherbakova-Slyusarenko. "Imitation as a tool for general optimization of technical and economic parameters of cargo handling terminals." *Jekspluatacija morskogo transporta* 2(72) (2013): 6–8.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Павленко Сергей Сергеевич —
аспирант.
Научный руководитель:
Кузнецов Александр Львович —
доктор технических наук, профессор.
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С. О. Макарова»
spavlenko90@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Pavlenko Sergei Sergeevich —
Postgraduate.
Supervisor:
Kuznetsov Aleksandr Lvovich —
Dr. of Technical science, professor.
Admiral Makarov State University
of Maritime and Inland Shipping
spavlenko90@mail.ru

Статья поступила в редакцию 22 октября 2015 г.