

DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-1-87-92

## ANALYSIS OF CONTAINER CARGO-DISTRIBUTION FOR COMBINED CONSIGNMENTS SHIPMENT FROM THE SEAPORT

**O. A. Izotov**

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,  
St. Petersburg, Russian Federation

*The impact of the internal sub-container technologies introduction on the transportation of bulk shipments deep into the Hinterland of the sea container terminal is analyzed in the paper. The characteristics of the internal container cargo distribution and the dynamics of its changes associated with the transfer of loading and unloading operations from the territory of the sea terminal to the rear zone are revealed. The influence of new means of combined shipments consolidation on the reduction of the terms of using heavy-duty containers in the Hinterland of the seaport is noted. The mechanism of organizing small shipments transportation in Hinterland is considered and its components are indicated. A simple correlation (regressive) model, which allows the entire production process under consideration to be reduced to a function in which the dependent variable is a relationship with one independent argument, is given. It is noted that the processes occurring in the system under consideration are random and further investigation of the behavior of the system itself requires a set of primary statistics. The task formulated in the study allows us to conclude that the introduction of new means of combined shipments consolidation can be reflected in significant fluctuations in container shipments and the time of using containers in the Hinterland zones. At the same time, such differences, due to the limited time of containers use in the period between ship calls and the insignificance of the delivered bulk shipments volume from the total container traffic (8–12 %), cannot have a significant impact on the rhythm of the container terminal and related types of transportation. For the purpose of separate accounting of containers movement with small shipments, simulation modeling methods, allowing us to obtain probability density distribution of containers being located in the processing zones, are recommended for use.*

*Keywords: transportation modeling, combined cargo, container technologies, hinterland, seaport, correlation model, simulation modeling*

**For citation:**

Izotov, Oleg A. "Analysis of container cargo-distribution for combined consignments shipment from the seaport." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 14.1 (2022): 87–92. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-1-87-92.

**УДК 656.073.2**

## АНАЛИЗ КОНТЕЙНЕРНОГО ГРУЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОТПРАВКИ СБОРНЫХ ПАРТИЙ ИЗ МОРСКОГО ПОРТА

**О. А. Изотов**

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

*В работе выполнен анализ влияния внедрения внутренних субконтейнерных технологий на перевозку сборных партий грузов вглубь хинтерленда морского контейнерного терминала. Выявлены характеристики внутреннего контейнерного грузораспределения и динамика его изменения, связанная с переносом погрузочно-разгрузочных операций с территории морского терминала в тыловую зону. Отмечается влияние новых средств укрупнения сборных партий грузов на сокращение сроков использования большегрузных контейнеров в хинтерленде морского порта. Рассмотрен механизм организации перевозок малых партий грузов в хинтерленде и указаны его слагаемые. Приведена простая корреляционная (регрессивная) модель, позволяющая свести весь рассматриваемый производственный процесс к такой функции, в которой зависимая переменная представляет собой связь с одним независимым аргументом. Отмечается, что процессы, протекающие в рассматриваемой системе, носят случайный характер, и дальнейшее исследование поведения самой системы требует совокупности данных первичной статистики. Сформулированная в исследовании*

задача позволяет сделать вывод о том, что внедрение новых средств укрупнения сборных партий грузов может найти свое отражение в существенных разбросах контейнерных отправок и времени использования контейнеров в зонах хинтерленда. Вместе с тем такие разбросы, ввиду ограниченности сроков использования контейнеров в период между судозаходами и незначительностью объема доставляемых сборных партий грузов от общего контейнеропотока (8–12 %), не способны оказать существенного влияния на ритм работы контейнерного терминала и смежных видов транспорта. В целях отдельного учета движения контейнеров с малыми партиями грузов к применению рекомендованы методы имитационного моделирования, позволяющие получать распределение плотности вероятности нахождения контейнеров в зонах обработки.

**Ключевые слова:** моделирование перевозок, сборные грузы, контейнерные технологии, хинтерленд, морской порт, корреляционная модель, имитационное моделирование.

**Для цитирования:**

Изотов О. А. Анализ контейнерного грузораспределения отправки сборных партий из морского порта / О. А. Изотов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2022. — Т. 14. — № 1. — С. 87–92. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-1-87-92.

**Введение (Introduction)**

Предварительное исследование планируемого к внедрению производственного или экономического процесса можно провести как на основе простой, так и сложной (многомерной) корреляционной (регрессивной) модели [1]. Применение простых моделей возможно, если это не сопровождается с потерей существенной информации, описывающей протекающие в системе процессы. Легко определяющиеся и поддающиеся истолкованию зависимости с одной независимой переменной, имеющие значимую практическую полезность, проще описать при помощи простой корреляционной (регрессивной) модели. С одной стороны, корреляционно-регрессионный анализ является одним из наиболее широко распространенных и гибких приемов обработки статистических данных, с другой — такая модель позволяет определить колебания оцениваемых показателей исследуемой зависимой переменной при каждом изменении значений известной независимой переменной [2].

В данном случае задача корреляционного анализа может быть сведена к выделению первостепенного фактора, который оказывает существенное или наиболее значимое влияние на оцениваемый результат. Задача регрессионного анализа заключается в установлении формы зависимости и влияния выделенного фактора на показатели неизвестных значений зависимой переменной, что позволяет, в конечном итоге, приступить к прогнозированию возможных значений результативного признака при заданных значениях факторных признаков.

**Методы и материалы (Methods and Materials)**

Представим систему отгрузки сборных грузов с территории морского терминала в зону хинтерленда. Такие грузы прибывают в порт морским транспортом в большегрузных контейнерах и отправляются вглубь материка подвижными средствами смежного транспорта либо сразу, либо после растарки контейнера в тарно-штучно виде [3] (рис. 1, а). С введением в оборот новых средств укрупнения малых партий грузов [4]–[6] возможна отправка как согласно указанным ранее вариантам, так и сразу во внутриконтейнерных модулях (рис. 1, б).

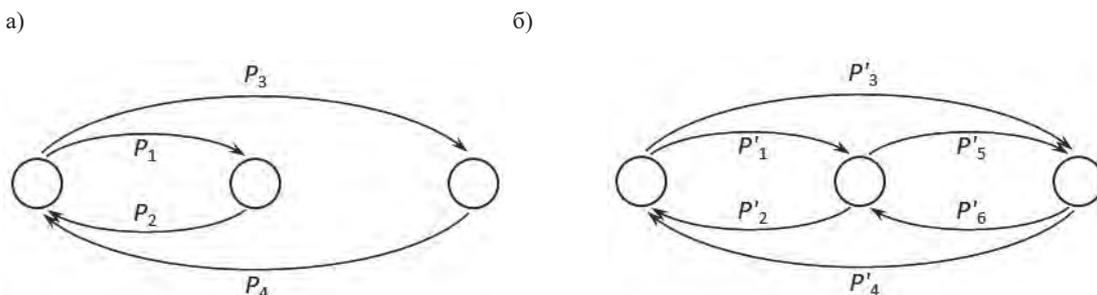


Рис. 1. Схемы транспортировки сборных грузов в зоне хинтерленда: а — в контейнерах ( $P_1$ ) и в тарно-штучном виде ( $P_3$ ); б — в контейнерах ( $P'$ ), в тарно-штучном виде ( $P'_3$  и  $P'_5$ ) и во внутриконтейнерных модулях ( $P'_3$  и  $P'_5$ )

Рассмотрим слагаемые организации перевозок малых партий грузов в хинтерленде. В идеальном случае грузопотоки, исходящие с территории порта, и грузопотоки, возвращающиеся в порт, должны быть равны [7], тогда в первом случае

$$P_1 + P_3 = P_2 + P_4; \quad (1)$$

во втором случае

$$P'_1 + P'_3 + P'_5 = P'_2 + P'_4 + P'_5. \quad (2)$$

Кроме того, следует отметить, что грузопотоки в обоих случаях равны:

$$P_1 + P_3 = P'_1 + P'_3 + P'_5. \quad (3)$$

При этом, в силу стремления к наиболее полному использованию преимуществ контейнерных технологий,  $P_1 \rightarrow \max$ . В то же время в целях сокращения сопряженных с перевозкой погрузочно-разгрузочных операций,  $P'_1 \rightarrow \min$ . Таким образом,

$$P_1 \neq P'_1. \quad (4)$$

Продолжив рассуждения, можно записать следующее:

$$P_3 \neq P'_3, \quad (5)$$

поскольку в первом случае  $P_3$  включает только тарно-штучные грузы, а во втором —  $P'_3$  и  $P'_5$  предполагают также тарно-штучные отправки и перевозку малых партий грузов во внутриконтейнерных модулях (см. рис. 1).

### Результаты (Results)

Простая корреляционная (регрессивная) модель позволяет свести весь рассматриваемый производственный процесс к такой функции, в которой переменная  $Y$  представляет собой зависимость только от одного аргумента  $X$ .

Общий вид модели в первом случае

$$Y = X - fX, \quad (6)$$

где  $Y$  — объем грузов, отгружаемый из порта в контейнерах;  $X$  — объем грузов, отгружаемый из порта;  $f$  — доля грузов, отгружаемая в тарно-штучном виде (от 0 до 1).

При этом функциональные зависимости между переменными  $Y$  и  $X$  выражаются в линейной форме. Во втором случае зависимости между переменными  $Y$  и  $X$  могут быть выражены следующим образом при  $f + \beta \leq 1$ :

$$Y = X - (fX + \beta X), \quad (7)$$

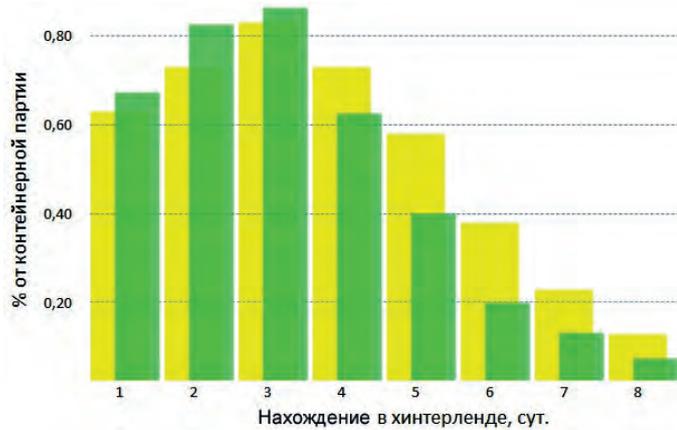
где  $Y$  — объем грузов, отгружаемый из порта в контейнерах;  $X$  — объем грузов, отгружаемый из порта;  $f$  — доля грузов, отгружаемая в тарно-штучном виде;  $\beta$  — доля грузов, отгружаемая во внутриконтейнерных модулях.

В выражении (7) независимая переменная  $X$  и коэффициенты  $f$  и  $\beta$  входят в модель нелинейно. Кроме того, коэффициенты  $f$  и  $\beta$  отражают случайные процессы, протекающие в системе в момент  $t_0$  — при поступлении грузопотока в порт распределения. Так, при обработке полученных статистических данных для их расчетов здесь могут быть применены марковские матрицы отклонений [8]–[11].

Таким образом, внедрение новых средств укрупнения сборных партий грузов [12]–[13] найдет свое отражение в существенных разбросах контейнерных отправок и времени использования контейнеров в зонах хинтерленда (см. рис. 2, а) и морского терминала (см. рис. 2, б). Такие разбросы, ввиду ограниченности сроков использования контейнеров в период между судозаходами и незначительностью объема доставляемых сборных партий грузов от общего контейнеропотока (8–12 %), неспособны оказать значительного влияния на ритм работы контейнерного терминала и смежных

видов транспорта, однако требуют отдельного учета. Для этого целесообразно использовать *методы имитационного моделирования* [14]–[16], позволяющие получать распределение плотности вероятности нахождения контейнеров в зонах обработки (рис. 2).

а)



б)

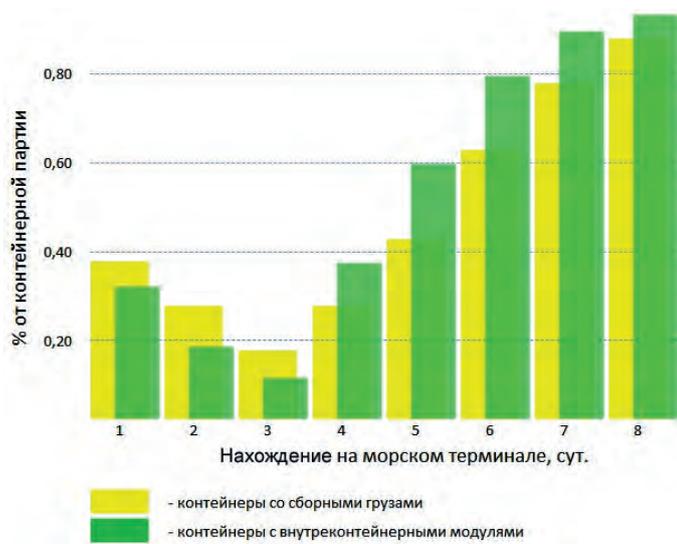


Рис. 2. Гистограмма распределения вероятности нахождения контейнеров со сборными грузами в зонах обработки: а — в хинтерленде; б — на морском терминале

Как видно из гистограммы, внедрение внутриконтейнерных модулей позволит сократить время пребывания контейнеров в хинтерленде и сроки возвращения контейнеров на морской терминал.

### Выводы (Summary)

На основе выполненного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Предложенная модель контейнерного грузораспределения при доставке сборных грузов из морского порта в глубь материка логична, т. е. не дает противоречащих логике результатов при вариации входящих в нее параметров.
2. Сопоставление выводов, сделанных на основе анализа данной модели, не противоречит наблюдаемым фактам и, соответственно, может считаться адекватным описываемому процессу.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Aas K.* Pair-copula constructions of multiple dependence / K. Aas, C. Czado, A. Frigessi, H. Bakken // *Insurance: Mathematics and Economics*. — 2009. — Vol. 44. — Is. 2. — Pp. 182–198. DOI: 10.1016/j.insmatheco.2007.02.001.
2. *Bedford T.* Probability density decomposition for conditionally dependent random variables modeled by vines / T. Bedford, R. M. Cooke // *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence*. — 2001. — Vol. 32. — Is. 1. — Pp. 245–268. DOI: 10.1023/A:1016725902970.
3. *Кириченко А. В.* Перевозка экспортно-импортных грузов. Организация логистических систем / А. В. Кириченко. — 2-е изд. — СПб.: Питер, 2004. — 506 с.
4. *Кузнецов А. Л.* Классификация и функциональное моделирование эшелонированных контейнерных терминалов / А. Л. Кузнецов, А. В. Кириченко, А. А. Давыденко // *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова*. — 2015. — № 6 (34). — С. 7–16. DOI: 10.21821/2309-5180-2015-7-6-7-16.
5. *Изотов О. А.* Роль транспортно-логистических кластеров в формировании контейнерных коридоров перевозок сборных грузов / О. А. Изотов, А. Л. Кузнецов, Д. Л. Головцов // *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология*. — 2020. — № 2. — С. 127–136. DOI: 10.24143/2073-1574-2020-2-127-136.
6. *Кузнецов А. Л.* Морская контейнерная транспортно-технологическая система: моногр. / А. Л. Кузнецов, А. В. Кириченко, А. А. Давыденко. — СПб.: Изд-во МАНЭБ, 2017. — 320 с.
7. *Изотов О. А.* Процессы формирования сборных контейнерных партий груза / О. А. Изотов, Ю. И. Васильев, О. А. Ражев // *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова*. — 2020. — Т. 12. — № 2. — С. 252–261. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-2-252-261.
8. *Анфилатов В. С.* Системный анализ в управлении: учеб. пособие / В. С. Анфилатов, А. А. Емельянов, А. А. Кукушкин. — М.: Финансы и статистика, 2002. — 368 с.
9. *Бородачѳ С. М.* Теория принятия решений: учеб. пособие / С. М. Бородачѳ. — Екатеринбург: Уральский федеральный ун-т, 2014. — 124 с.
10. *Демидова Л. А.* Принятие решений в условиях неопределенности / Л. А. Демидова, В. В. Кираковский, А. Н. Пылькин. — М.: Горячая линия — Телеком, 2012. — 290 с.
11. *Кельберт М. Я.* Вероятность и статистика в примерах и задачах / М. Я. Кельберт, Ю. М. Сухов. — Т. II: Марковские цепи как отправная точка теории случайных процессов и их приложения. — М.: МЦНМО, 2010. — 295 с.
12. *Изотов О. А.* Перспективы развития технологий перевозки сборных грузов в контейнерах / О. А. Изотов, А. Л. Кузнецов // *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология*. — 2020. — № 1. — С. 140–148. DOI: 10.24143/2073-1574-2020-1-140-148.
13. *Изотов О. А.* Оценка требуемых технологических ресурсов путем статистического моделирования / О. А. Изотов, А. В. Гулятьев // *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова*. — 2018. — Т. 10. — № 3. — С. 497–506. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-3-497-506.
14. *Кузнецов А. Л.* Оценка времени доставки в сложных цепях поставки с помощью моделирования / А. Л. Кузнецов, А. В. Кириченко, А. Д. Семенов // *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова*. — 2021. — Т. 13. — № 3. — С. 372–383. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-3-372-383.
15. *Larsen R. B.* Model predictive control for simultaneous planning of container and vehicle routes / R. B. Larsen, V. Atasoy, R. R. Negenborn // *European Journal of Control*. — 2021. — Vol. 57. — Pp. 273–283. DOI: 10.1016/j.ejcon.2020.06.003.
16. *Кузнецов А. Л.* Расчет флота и парка контейнерного оборудования судоходной линии / А. Л. Кузнецов, А. В. Кириченко, А. Д. Семенов // *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова*. — 2021. — Т. 13. — № 4. — С. 539–547. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-4-539-547.

**REFERENCES**

1. Aas, Kjersti, Claudia Czado, Arnaldo Frigessi, and Henrik Bakken. "Pair-copula constructions of multiple dependence." *Insurance: Mathematics and economics* 44.2 (2009): 182–198. DOI: 10.1016/j.insmatheco.2007.02.001

2. Bedford, Tim, and Roger M. Cooke. “Probability density decomposition for conditionally dependent random variables modeled by vines.” *Annals of Mathematics and Artificial intelligence* 32.1 (2001): 245–268. DOI: 10.1023/A:1016725902970.

3. Kirichenko, A. V. *Perevozka eksportno-importnykh gruzov. Organizatsiya logisticheskikh sistem*. 2<sup>nd</sup> edition. SPb.: Piter, 2004.

4. Kuznetsov, Aleksandr Lvovich, Aleksandr Viktorovich Kirichenko, and Aleksandr Aleksandrovich Davydenko. “Classification and functional modeling of echeloned container terminals.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 6(34) (2015): 7–16. DOI: 10.21821/2309-5180-2015-7-6-7-16.

5. Izotov, Oleg Albertovich, Alexander Lvovich Kuznetsov, and Dmitriy Lvovich Golovtsov. “Role of transport and logistics clusters in creating container corridors for groupage cargo transportation.” *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and technologies* 2 (2020): 127–136. DOI: 10.24143/2073-1574-2020-2-127-136.

6. Kuznetsov, A. L., A. V. Kirichenko, and A. A. Davydenko. *Morskaya konteynernaya transportno-tekhnologicheskaya sistema: monografiya*. SPb.: Izd-vo MANEB, 2017.

7. Izotov, Oleg A., Yuri I. Vasiliev, and Oleg A. Razhev. “Processes for forming groupage container consignments.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 12.2 (2020): 252–261. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-2-252-261.

8. Anfilatov, V. S., A. A. Emel’yanov, and A. A. Kukushkin. *Sistemnyi analiz v upravlenii: Uchebnoe posobie*. M.: Finansy i statistika, 2002.

9. Borodachev, S. M. *Teoriya prinyatiya reshenii: Uchebnoe posobie*. Ekaterinburg: Ural’skii federal’nyi universitet, 2014.

10. Demidova, L. A., V. V. Kirakovskii, and A. N. Pyl’kin. *Prinyatie reshenii v usloviyakh neopredelennosti*. M.: Goryachaya liniya — Telekom, 2012.

11. Kel’bert, M. Ya., and Yu. M. Sukhov. *Veroyatnost’ i statistika v primerakh i zadachakh. T. II: Markovskie tsepi kak otpravnyaya tochka teorii sluchainykh protsessov i ikh prilozheniya*. M.: MTsNMO, 2010.

12. Izotov, Oleg Albertovich, and Alexander Lvovich Kuznetsov. “Development prospects of technologies of grouped cargo containerization.” *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and technologies* 1 (2020): 140–148. DOI: 10.24143/2073-1574-2020-1-140-148.

13. Izotov, Oleg A., and Alexander V. Gulyaev. “Assessment of required technological resources by statistical simulation.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 10.3 (2018): 497–506. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-3-497-506.

14. Kuznetsov, Aleksandr L., Aleksandr V. Kirichenko, and Anton D. Semenov. “Evaluating lead-time in complex supply chains by simulation technique.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 13.3 (2021): 372–383. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-3-372-383.

15. Larsen, Rie B., Bilge Atasoy, and Rudy R. Negenborn. “Model predictive control for simultaneous planning of container and vehicle routes.” *European Journal of Control* 57 (2021): 273–283. DOI: 10.1016/j.ejcon.2020.06.003.

16. Kuznetsov, Aleksandr L., Aleksandr V. Kirichenko, and Anton D. Semenov. “Assessment of container ship and equipment fleet size.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 13.4 (2021): 539–547. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-4-539-547.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

**Изотов Олег Альбертович** —  
кандидат технических наук  
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала  
С. О. Макарова»  
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,  
ул. Двинская, 5/7  
e-mail: iztv65@rambler.ru, kaf\_pgt@gumrf.ru

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Izotov, Oleg A.** —  
PhD  
Admiral Makarov State University of Maritime  
and Inland Shipping  
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,  
Russian Federation  
e-mail: iztv65@rambler.ru, kaf\_pgt@gumrf.ru

Статья поступила в редакцию 21 января 2022 г.  
Received: January 21, 2022.