

DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-1-37-44

## ANALYSIS OF DAMAGED CONTAINERS STACKING STRATEGIES

**A. L. Kuznetsov<sup>1</sup>, A. V. Kirichenko<sup>1</sup>, A. D. Semenov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> — Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,  
St. Petersburg, Russian Federation

<sup>2</sup> — Yanino Logistics Park LLC, Leningrad Region, Russian Federation

*A container strategy based on information about container damage is considered in the paper. The container terminals operators frequently use special sections in container yard, dedicated only for the damaged containers. It is suggested in the paper that this strategy leads to the minimization of additional movements in container selection operations. At the same time, the fact that container owners do not repair all the damaged containers is proved in the paper. This leads to the necessity to select containers from the specialized section with additional movements. This selection can be avoided if the specialized section consists of the containers that will be certainly repaired. One of the hypotheses of the research is that the effectiveness of this strategy can be improved if a statistical classifier is used for the prediction of container repair. This classifier can be based on the information about the price of container repair and container exploitation time. The linear classifier educated on the small statistical data is considered in the paper. It is proved that such model could effectively classify 40 % of containers that will be repaired. In order to analyze the effectiveness of suggested strategies the simulation model is used. There are three strategies, that are considered in the paper: the specialized stack is used only for the container classified with statistical model; the specialized stack is used for all damaged containers; containers are stacked to the stack minimum positions. It is proved that the first two strategies increase the number of additional movements in the non-specialized stack. The results of analysis have showed that the hypothesis of statistical classifier utilization in order to improve stacking strategy effectiveness is not practically useful. The most useful strategy in the case of the research is containers even distribution in the stack.*

*Keywords: stacking strategy, simulation modelling, container repair, seaport, dry port, container terminal, container stack, operation productivity, cargo handling equipment, selectivity.*

**For citation:**

Kuznetsov, Aleksandr L., Aleksandr V. Kirichenko, and Anton D. Semenov. "Analysis of damaged containers stacking strategies." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 13.1 (2021): 37–44. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-1-37-44.

**УДК 656.615**

## АНАЛИЗ СТРАТЕГИЙ СКЛАДИРОВАНИЯ ПОВРЕЖДЕННЫХ КОНТЕЙНЕРОВ

**А. Л. Кузнецов<sup>1</sup>, А. В. Кириченко<sup>1</sup>, А. Д. Семенов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> — ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

<sup>2</sup> — ООО «Логистический Парк «Янино», Ленинградская область, Российская Федерация

*В работе рассматривается стратегия складирования контейнеров, основанная на информации об их повреждении. Отмечается, что часто в практике работы контейнерных терминалов выделяются специальные секции для установки поврежденных контейнеров. Предположительно такой подход минимизирует дополнительные движения, необходимые для выборки поврежденных контейнеров из штабеля. В исследовании приведены доказательства того, что собственники подтверждают ремонт не всех контейнеров, что приводит к необходимости производить выборку поврежденных контейнеров из специализированного штабеля. Отмечается, что этого можно избежать, если в специализированный штабель будут попадать только контейнеры, ремонт которых гарантированно будет подтвержден. Одной из гипотез исследования является предположение о том, что для повышения эффективности данной стратегии можно использовать модель классификации, основанную на статистических данных о стоимости ремонта контейнера и сроке его эксплуатации. В статье приводится линейная модель классификации,*

обученная на небольшой статистической выборке. Доказывается, что такая модель может точно классифицировать 40 % контейнеров, ремонт которых будет подтвержден. Для анализа эффективности предлагаемой стратегии складирования используется имитационное моделирование. При этом рассматриваются три варианта: в специализированный штабель укладываются только контейнеры, которые были классифицированы как предназначенные к ремонту; в специализированный штабель укладываются все поврежденные контейнеры; контейнеры укладываются в минимальную позицию в штабеле. Доказывается, что первые две стратегии значительно увеличивают трудоемкость выборки контейнеров в неспециализированных штабелях. По результатам анализа отклоняется гипотеза об эффективности использования модели классификации для распределения контейнеров по штабелям. Наиболее эффективным подходом является равномерное распределение контейнеров по всем штабелям.

**Ключевые слова:** стратегии складирования, имитационное моделирование, ремонт контейнеров, морской порт, сухой порт, контейнерный терминал, контейнерный штабель, производительность операций, перегрузочное оборудование, селективность.

**Для цитирования:**

Кузнецов А. Л. Анализ стратегий складирования поврежденных контейнеров / А. Л. Кузнецов, А. В. Кириченко, А. Д. Семенов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2021. — Т. 13. — № 1. — С. 37–44. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-1-37-44.

**Введение (Introduction)**

Техническое состояние контейнера, поступившего на терминал тем или иным способом, определяет не столько возможность его дальнейшего использования в процессе перевозки, сколько пригодность для разных грузов: один контейнер с некоторыми дефектами может использоваться для перевозки одних грузов и не может для других [1], [2]. В связи с этим особое место в контейнерных перевозках занимают выполняемая на терминалах дефектация и ремонт контейнеров.

Груженные и порожние контейнеры по прибытии на терминал проходят тальманский досмотр [3]. В ходе этой операции тальман фиксирует и классифицирует обнаруженные повреждения. Данная информация передается собственнику контейнера, который должен принять решение о проведении ремонта. Соответствующее решение принимается на основании значимости повреждения, стоимости ремонта, наличия порожних контейнеров в регионе и т. д. [4]–[6]. Общая схема данной процедуры в нотации BPMN приведена на рис. 1.

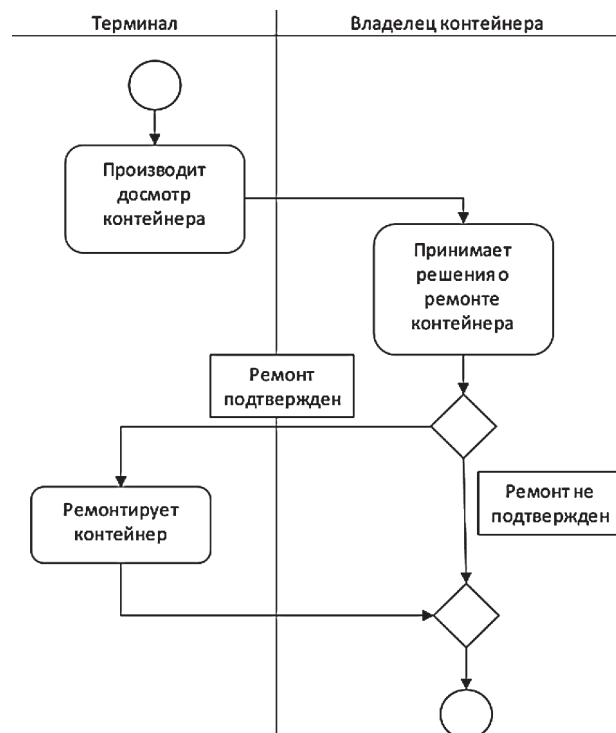


Рис. 1. Процедура принятия решения о ремонте контейнера

Поскольку собственник часто находится вдали от расположения терминала (иногда разделен несколькими часовыми поясами), такое решение может требовать значительного времени. В связи с этим поврежденные контейнеры временно помещаются в общий контейнерный штабель. К моменту, когда будет принято решение о ремонте или отсылке в указанный владельцем адрес, контейнер может оказаться в нижних ярусах штабеля, заблокированным прибывшими позже контейнерами (рис. 2). Это приводит к повышению трудоемкости операции перемещения контейнеров из штабеля в зону ремонта или погрузки на транспорт, поскольку увеличивается количество дополнительных перемещений, необходимых для выборки контейнеров. При этом следует отметить, что в некоторых научных исследованиях рассматриваются различные стратегии складирования контейнеров, позволяющие снизить общую трудоемкость операций контейнерного склада [7]–[9], однако в них не рассматривается стратегия складирования, учитывающая повреждение контейнера.

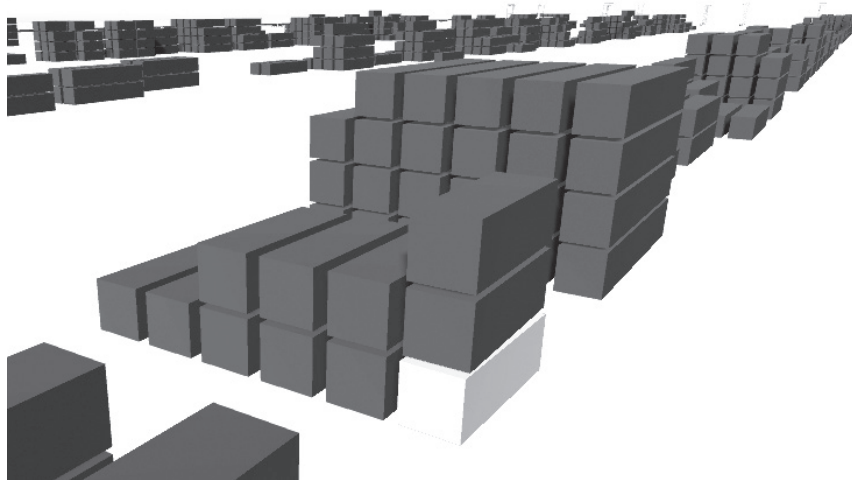


Рис. 2. Пример размещения «заблокированного» контейнера в штабеле

Как правило, в практике работы контейнерных терминалов применяется *эвристическая стратегия*: контейнеры с повреждениями и контейнеры без повреждений устанавливаются в разные секции штабеля. С точки зрения оператора контейнерного терминала, такой подход позволяет снизить трудоемкость выборки поврежденных контейнеров, принимаемых к ремонту. В действительности такой подход может не повлиять на трудоемкость выборки, поскольку не все поврежденные контейнеры будут направлены на ремонт, а время их выборки в любом случае остается случайной величиной. На рис. 3 приведены примеры соотношения отремонтированных и неотремонтированных контейнеров для разных собственников, полученные в результате сбора статистических данных.

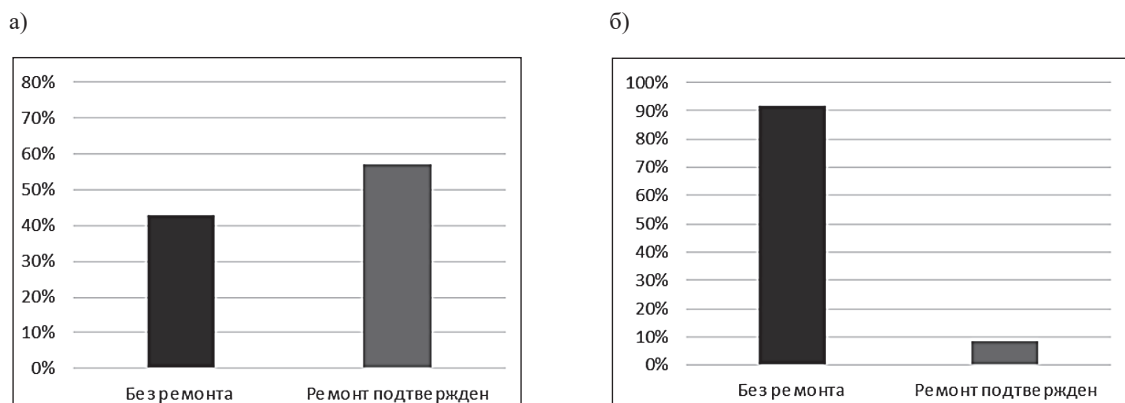


Рис. 3. Доля подтвержденных к ремонту контейнеров:  
 а — собственника 1; б — собственника 2

В результате контейнер, который необходимо выбрать из отведенного для ремонта штабеля, может оказаться в таком же неоптимальном положении, как показанный на рис. 2. Таким образом, абсолютное разделение на поврежденные и неповрежденные контейнеры в общем случае не решает указанную операционную проблему. В то же время на контейнерных терминалах используются информационные системы, которые позволяют регистрировать и накапливать большой объем данных о каждом контейнере. В том числе в них содержится информация о поврежденных элементах, характеристиках дефектов, стоимости ремонта, а также о принятом в отношении ремонта решении. Статистическая обработка и анализ этих данных могут быть использованы для построения *модели классификации*, которая позволит заранее спрогнозировать, какой контейнер будет отремонтирован, а какой нет.

В данной работе рассматривается стратегия складирования контейнеров с учетом степени их повреждения.

### Методы и материалы (Methods and Materials)

Рассмотрим модель линейной классификации, целью которой является определить, принимается ли контейнер к ремонту на основании данных об общей стоимости ремонта и времени его эксплуатации. Пример исходных данных для построения модели представлен в табл. 1. На практике необходимо использовать более сложные модели, учитывающие повреждения отдельных элементов контейнера, а также разных его собственников.

Таблица 1

Пример исходных данных для построения модели

Номер контейнера	Стоимость ремонта, долл.	Время эксплуатации контейнера, лет	Без ремонта / Ремонт выполнен
AMFU8889963	94,24	14	-1
AMFU8894872	23,9	13	-1
APHU6505510	278,31	13	1
APHU6577280	72,32	13	-1
APHU6797259	130,1	13	1

*Примечание.* В последнем столбце таблицы представлен класс контейнера: -1 — ремонт не выполнялся; 1 — ремонт был выполнен.

Общая совокупность данных разделяется на две группы: для обучения модели и для ее проверки. Общее количество контейнеров составляет 1200 ед. В полученных данных имеет место ошибка: для 1000 контейнеров неизвестна стоимость ремонта, однако известно, что они не были отремонтированы. В связи с этим в выборку для проверки попадают только отремонтированные контейнеры.

Выборка, на основании которой строится модель линейной классификации, включает 200 контейнеров, в 50 % которых не проводился ремонт. Средняя стоимость ремонта составляет 123 долл. Коэффициент вариации — 40 %. Средний срок службы контейнера — 8 лет. Коэффициент вариации — 30 %. Вторая выборка включает 1000 контейнеров. Для каждого из этих контейнеров точно известно, что они были отремонтированы. Полученная на основании этих данных модель имеет следующий вид:

$$y = \begin{cases} 1, & \text{если } -0,0759 + 0,002x_1 - 0,015x_2 \geq 0; \\ -1, & \text{если } -0,0759 + 0,002x_1 - 0,015x_2 < 0, \end{cases}$$

где  $x_1$  — стоимость ремонта, долл.;

$x_2$  — срок эксплуатации контейнера, лет.

Использование полученной модели для классификации контейнеров во второй выборке позволило правильно определить 40 % контейнеров, которые подлежат ремонту. Такой результат показывает не слишком высокую точность модели, однако ее можно использовать для сравнения трудоемкости выборки этих контейнеров без предварительной классификации и с классификацией с помощью линейной модели.

### Результаты (Results)

Для анализа исследуемых стратегий складирования рассмотрим три варианта укладки контейнера:

- 1) контейнеры, классифицированные как те, которые будут отремонтированы или отправлены на ремонт, укладываются в отдельный штабель;
  - 2) все поврежденные контейнеры укладываются в отдельный штабель;
  - 3) контейнеры укладываются в минимальную позицию в штабеле.
- Результаты моделирования приведены на рис. 4.

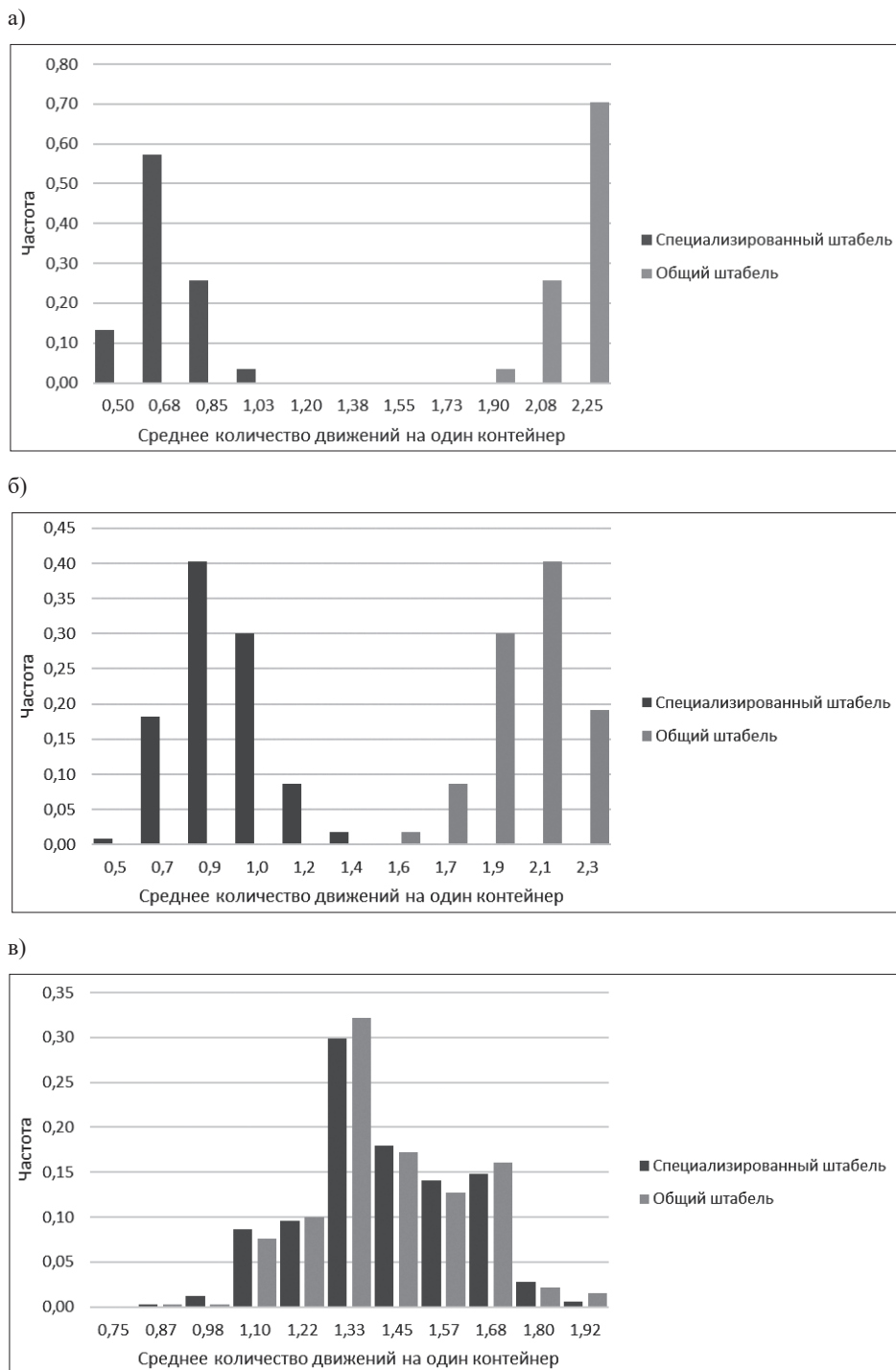


Рис. 4. Результаты моделирования трудоемкости выборки контейнеров:  
 а — при помещении всех поврежденных контейнеров в отдельный штабель;  
 б — при помещении всех поврежденных контейнеров в отдельный штабель;  
 в — при укладке в минимальную позицию

Как видно из рис. 4, выделение специализированного штабеля значительно увеличивает трудоемкость выборки в одном штабеле и уменьшает в другом, в то время как равномерное заполнение штабеля позволяет сохранить среднюю трудоемкость выборки на одном уровне. Таким образом, приведенные рассуждения подводят к выводу, сделанному в работе [10], который заключается в том, что необходимо избегать неравномерного заполнения штабеля.

### Обсуждение (Discussion)

Высокая неопределенность в решении вопроса, касающегося ремонта контейнеров, определяется не только коммерческими особенностями работы собственников контейнеров, но и качеством классификации повреждений контейнеров. Во многих случаях при тальманском досмотре отмечаются мельчайшие повреждения, не требующие ремонта контейнеров. В связи с этим необходимо усовершенствовать систему обучения тальманов, осуществляющих досмотр в части повышения точности классификации повреждения.

### Выводы (Conclusions)

1. В работе рассмотрена задача анализа стратегии складирования контейнеров, основанная на информации об их повреждении.
2. Для снижения трудоемкости выборки контейнеров при их транспортировке в зону ремонта было предложено использовать модель линейной классификации, которая дает прогноз о том, будет ли контейнер ремонтироваться или нет.
3. Для оценки эффективности использования предложенной стратегии были проведены имитационные эксперименты, которые доказали, что выделение поврежденных контейнеров в отдельный штабель позволяет снизить трудоемкость выборки. В то же время такое снижение осуществляется за счет повышения трудоемкости выборки контейнеров из других штабелей.
4. Выполненный в работе анализ доказывает целесообразность равномерной укладки контейнеров по всем штабелям. Такой подход минимизирует количество дополнительных движений, необходимых для выборки одного контейнера. Последнее, в свою очередь, оказывает влияние на время обработки транспортных средств и себестоимость операции.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Hoffmann N.* A decision model on the repair and maintenance of shipping containers / N. Hoffmann, R. Stahlbock, S. Voß // *Journal of Shipping and Trade*. — 2020. — Vol. 5. — Is. 1. — Pp. 1–21. DOI: 10.1186/s41072-020-00070-2.
2. *Hjortnaes T.* Minimizing cost of empty container repositioning in port hinterlands, while taking repair operations into account / T. Hjortnaes, B. Wiegman, R. R. Negenborn, R. A. Zuidwijk, R. Klijnhout // *Journal of Transport Geography*. — 2017. — Vol. 58. — Pp. 209–219. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2016.12.015.
3. *Gómez-Padilla A.* An option contract model for leasing containers in the shipping industry / A. Gómez-Padilla, R. G. González-Ramírez, F. Alarcón, S. Voß // *Maritime Economics & Logistics*. — 2020. — Pp. 1–20. DOI: 10.1057/s41278-020-00167-2.
4. *Kuzmicz K. A.* Approaches to empty container repositioning problems in the context of Eurasian intermodal transportation / K. A. Kuzmicz, E. Pesch // *Omega*. — 2019. — Vol. 85. — Pp. 194–213. DOI: 10.1016/j.omega.2018.06.004.
5. *Wang K.* Ship type decision considering empty container repositioning and foldable containers / K. Wang, S. Wang, L. Zhen, X. Qu // *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. — 2017. — Vol. 108. — Pp. 97–121. DOI: 10.1016/j.tre.2017.10.003.
6. *Luo T.* Empty container repositioning strategy in intermodal transport with demand switching / T. Luo, D. Chang // *Advanced Engineering Informatics*. — 2019. — Vol. 40. — Pp. 1–13. DOI: 10.1016/j.aei.2019.02.008.
7. *Кузнецов А. Л.* Селективность контейнеров в различных транспортно-технологических схемах / А. Л. Кузнецов, А. Д. Семенов, А. А. Радченко // *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова*. — 2020. — Т. 12. — № 4. — С. 672–682. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-4-672-682.



8. Кузнецов А. Л. Анализ оптимизационных стратегий складирования контейнеров / А. Л. Кузнецов, А. Д. Семенов, А. З. Боревиц // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 11. — № 5. — С. 803–812. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-5-803-812.

9. Кузнецов А. Л. Влияние технических ограничений перегрузочного оборудования на производительность операций / А. Л. Кузнецов, А. Д. Семенов, В. П. Левченко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 11. — № 3. — С. 417–429. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-3-417-429.

10. Кузнецов А. Л. Стратегия управления штабелем контейнерного терминала / А. Л. Кузнецов, А. З. Боревиц, А. А. Радченко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2020. — Т. 12. — № 5. — С. 853–860. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-5-853-860.

## REFERENCES

1. Hoffmann, Niclas, Robert Stahlbock, and Stefan Voß. “A decision model on the repair and maintenance of shipping containers.” *Journal of Shipping and Trade* 5.1 (2020): 1–21. DOI: 10.1186/s41072-020-00070-2.

2. Hjortnaes, T., B. Wiegman, R. R. Negenborn, R. A. Zuidwijk, and R. Klijnhout. “Minimizing cost of empty container repositioning in port hinterlands, while taking repair operations into account.” *Journal of Transport Geography* 58 (2017): 209–219. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2016.12.015.

3. Gómez-Padilla, Alejandra, R. G. González-Ramírez, F. Alarcón, and S. Voß. “An option contract model for leasing containers in the shipping industry.” *Maritime Economics & Logistics* (2020): 1–20. DOI: 10.1057/s41278-020-00167-2.

4. Kuzmich, Katarzyna Anna, and Erwin Pesch. “Approaches to empty container repositioning problems in the context of Eurasian intermodal transportation.” *Omega* 85 (2019): 194–213. DOI: 10.1016/j.omega.2018.06.004.

5. Wang, Kai, Shuaian Wang, Lu Zhen, and Xiaobo Qu. “Ship type decision considering empty container repositioning and foldable containers.” *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 108 (2017): 97–121. DOI: 10.1016/j.tre.2017.10.003.

6. Luo, Tian, and Daofang Chang. “Empty container repositioning strategy in intermodal transport with demand switching.” *Advanced Engineering Informatics* 40 (2019): 1–13. DOI: 10.1016/j.aei.2019.02.008.

7. Kuznetsov, Aleksandr L., Anton D. Semenov, and Anna A. Radchenko. “Box selectivity in different container cargo-handling systems.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 12.4 (2020): 672–682. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-4-672-682.

8. Kuznetsov, Aleksandr L., Anton D. Semenov, and Albert Z. Borevich. “Analysis of optimization container stacking strategies.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 11.5 (2019): 803–812. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-5-803-812.

9. Kuznetsov, Aleksandr L., Anton D. Semenov, and Veronika P. Levchenko. “The influence of container handling equipment technical limitations on the operations productivity.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 11.3 (2019): 417–429. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-3-417-429.

10. Kuznetsov, Aleksandr L., Albert Z. Borevich, and Anna A. Radchenko. “Container terminal stack management strategy.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 12.5 (2020): 853–860. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-5-853-860.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Кузнецов Александр Львович** —  
 доктор технических наук, профессор  
 ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала  
 С. О. Макарова»  
 198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,  
 ул. Двинская, 5/7  
 e-mail: [thunder1950@yandex.ru](mailto:thunder1950@yandex.ru),  
[kaf\\_pgt@gumrf.ru](mailto:kaf_pgt@gumrf.ru)

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Kuznetsov, Aleksandr L.** —  
 Dr. of Technical Sciences, professor  
 Admiral Makarov State University of Maritime  
 and Inland Shipping  
 5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,  
 Russian Federation  
 e-mail: [thunder1950@yandex.ru](mailto:thunder1950@yandex.ru),  
[kaf\\_pgt@gumrf.ru](mailto:kaf_pgt@gumrf.ru)

**Кириченко Александр Викторович** —

доктор технических наук, профессор  
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала  
С. О. Макарова»

198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,  
ул. Двинская, 5/7

e-mail: [KirichenkoAV@gumrf.ru](mailto:KirichenkoAV@gumrf.ru)

**Семенов Антон Денисович** — диспетчер

ООО «Логистический парк «Янино»

Российская Федерация,

Ленинградская область,

Всеволожский район, д. Янино-1,

Торгово-логистическая зона «Янино-1», № 1

e-mail: [asemyonov054@gmail.com](mailto:asemyonov054@gmail.com)

**Kirichenko, Aleksandr V.** —

Dr. of Technical Sciences, professor  
Admiral Makarov State University of Maritime  
and Inland Shipping

5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,  
Russian Federation

e-mail: [KirichenkoAV@gumrf.ru](mailto:KirichenkoAV@gumrf.ru)

**Semenov, Anton D.** — Dispatcher

Yanino Logistics Park LLC

Vsevolozhsky District,

Yanino-1 village,

Trade and logistics zone Yanino-1, No. 1,

Leningrad Region, Russian Federation

e-mail: [asemyonov054@gmail.com](mailto:asemyonov054@gmail.com)

*Статья поступила в редакцию 08 февраля 2021 г.*

*Received: February 8, 2021.*