

DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-4-539-547

## ASSESSMENT OF CONTAINER SHIP AND EQUIPMENT FLEET SIZE

**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

*The problem of evaluation of container ships and equipment fleet required for the successful container line activity on a certain route is considered in the paper. The analysis allows us to reveal specific features of this traditional task in the case of new transportation technology based on containerization. The basic mathematical formulas, which connect the number of ships and containers necessary to serve given cargo flow of container shipping line with its characteristics, are considered. The suggested method of this problem is illustrated with an example of simple container shipping route, connecting two ports, but the results stay true for more complicated cases (for example, for the round trip, connecting several ports). Particularly, the suggested method can be used as an instrument for comparative analysis of different variants of shipping line organization. The suggested method can be expanded in order to analyze the complex hierarchical configurations of shipping lines, which include several feeder and trunk routes. The verification of methods adequacy is done with utilization of specific simulation model. The results of simulation are represented in the paper. The described argumentation is valid for the regular and deterministic cargo flow. At the same time, container transportation can be characterized with significant variation of container party volumes. These variations can dramatically affect the necessary number of container equipment. In order to include these fluctuations, the method can be expanded with simulation modeling, which allows us to evaluate probability distribution of necessary number of ships and containers.*

*Keywords: containerization, linear transportation, calculation of ships, calculations of containers, container line, simulation modelling, shipping management, containerships, shipping routes.*

**For citation:**

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.

**УДК 656.614**

## РАСЧЕТ ФЛОТА И ПАРКА КОНТЕЙНЕРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ СУДОХОДНОЙ ЛИНИИ

**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 статье изучена проблема оценки размеров флота судов и парка контейнерного оборудования, необходимого для работы контейнерной линии на заданном маршруте. Выполненный анализ позволил выявить особенности постановки этой традиционной задачи в условиях новой технологической системы транспортировки, основанной на контейнеризации. В работе рассмотрены основные математические зависимости, связывающие количество судов и контейнеров, необходимых для обеспечения заданного грузопотока контейнерной линии, с характеристиками маршрута распределения. Предлагаемый метод решения поставленной проблемы для наглядности продемонстрирован на примере простого маршрута контейнерной линии, связывающей только два порта, но он сохраняет результативность и для более сложных практических случаев (например, круговых маршрутов, включающих несколько портов). В частности, представленный метод может быть использован в качестве инструмента сравнительного анализа различных вариантов организации маршрутов контейнерных линий. Отмечается, что предложенная методика может быть расширена для исследования многоуровневых иерархических конфигураций, включающих в себя несколько магистральных и фидерных линий. Подчеркивается, что проверка корректности метода осуществлялась*

с использованием специально разработанных имитационных моделей. Результаты моделирования также приведены в статье. Важным является то, что проведенные для обоснования методики рассуждения справедливы для равномерного и детерминированного грузопотока. В то же время контейнерные перевозки могут характеризоваться существенными разбросами объемов отправляемых контейнерных партий, которые могут оказать существенное влияние на необходимое количество контейнеров, используемых на линии. Для учета таких флуктуаций предложенная схема может быть дополнена методами имитационного моделирования, которые позволят получить распределение плотности вероятности потребности в судах и контейнерах.

**Ключевые слова:** контейнеризация, линейные перевозки, расчет количества судов, расчет количества контейнеров, контейнерная линия, имитационное моделирование, управление работой флота, контейнерообороты, маршруты судов.

**Для цитирования:**

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.

### Введение (Introduction)

Произошедшая в конце XX – начале XXI вв. контейнеризация не только коренным образом изменила мировую торговлю, запустив механизм глобализации, но и привела к смене принципов и критериев организации системы морских линейных перевозок. Контейнер, который, по своей сути, является не столько многооборотной тарой, сколько самостоятельным транспортным средством, перевозится в качестве груза морским и сухопутным транспортом. При этом перевозка выполняется независимо от того, груженный это контейнер или порожний. Необходимость постоянного возвращения контейнеров к началу нового цикла коммерческого оборота в системе транспортировки связывает воедино все участвующие в данном процессе виды транспорта. Суда контейнерной линии должны возвращаться в порт, в который были доставлены контейнеры, с тем, чтобы принять их на борт и доставить грузоотправителю в указанном месте по маршрутам обращения. Аналогичные правила действуют также в отношении перевозок наземным транспортом.

Сложность маршрутов, модель которых формируется из магистральных и фидерных морских перевозок, составных поездов, повагонных отправок и транспортировки автотранспортом, приводит к появлению значительного по размеру парка контейнерного оборудования. Стоимость этого оборудования и ответственность за его своевременный возврат накладывают жесткие требования на условия функционирования морской системы контейнерных перевозок. Под действием этих факторов современная система контейнерного грузораспределения стала настолько сложной, что разобраться в основных принципах ее функционирования и, в конечном счете, управления непросто. Например, количество линейных сервисов, которые предоставляет компания Maersk, составляет 500 маршрутов, компания CMA CGM — 270 маршрутов [1], [2]. При этом среднее количество портов, которые входят в маршруты Maersk, составляет 7,1, а CMA CGM — 6,6. К этому необходимо добавить также совместное использование судов разными линиями на одних маршрутах в форме соглашения о слотах [3], [4]. Кроме того, для выявления базовых законов и тенденций, а также для повышения квалификации работающих в отрасли специалистов необходимо сформулировать основные принципы управления системой контейнерного грузораспределения. Структурированное представление понятий и концепций, лежащих в основе управления флотом линейной компании, подкрепленное количественными расчетами, позволит принимать рациональные и обоснованные решения в процессе практической работы [5], [6].

Основной задачей описываемого исследования является выявление механизмов, лежащих в основе управления флотом контейнерной линии. Необходимо отметить, что в понятие флота (парка) такой компании входят не только суда, осуществляющие транспортировку контейнеров между портами, но и флот (парк) — контейнеры, которые также являются специализированными транспортными средствами [7], [8]. При организации нового маршрута судоходной компании

необходимо решить, какое количество судов и какой вместимости необходимо поставить на данное направление, а также оценить, какое количество контейнеров необходимо добавить в систему. В зависимости от того, какую конфигурацию контейнерного сервиса выберет компания, будет изменяться не только необходимое количество судов и контейнеров, но и время доставки груза. В данной работе рассматриваются основные математические зависимости, определяющие состав флота контейнерной линии.

### Методы и материалы (Methods and Materials)

Для выявления основных закономерностей следует рассмотреть упрощенный пример. Пусть некоторая контейнерная линия  $ii$  работает между двумя портами (рис. 1).

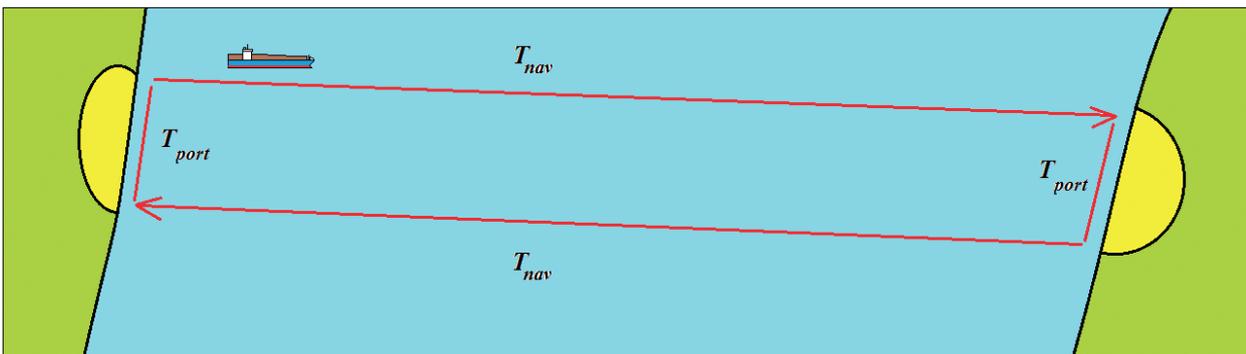


Рис. 1. Контейнерная линия

При организации линейного сервиса собственнику компании необходимо определить, какое количество контейнеров должно находиться в его распоряжении для нормального функционирования контейнерной линии. Количество контейнеров в обороте зависит от физических характеристик маршрута и количества работающих на данной линии судов.

Пусть грузооборот каждого порта составляет  $Q_i$ , TEU/год, расстояние между портами —  $D_i$ , морских миль, на линии используются суда вместимостью  $V_i$ , TEU, со скоростью хода  $s_i$ , уз, которые обрабатываются в порту в течение  $t_i$ , сут. Суточная скорость судна составит  $S_i = 24s_i$  миль, и, следовательно, время хода —  $T_i^{\text{ход}} = \frac{D_i}{24s_i}$ .

Время выполнения кругового рейса, сут, в данном случае составит

$$T_i^{\text{рейс}} = 2(T_i^{\text{ход}} + t_i) = 2\left(\frac{D_i}{24s_i} + t_i\right). \quad (1)$$

За год судно будет способно совершить  $n_i = \frac{365}{T_i^{\text{рейс}}}$  круговых рейсов, каждый из которых связан с одним заходом в порт на конце маршрута. Требуемое для реализации грузопотока общее количество судозаходов за год составляет  $N_i = \frac{Q_i}{V_i}$ , откуда необходимое для работы на линии количество судов  $m_i = \frac{N_i}{n_i}$ .

В каждый момент времени на борту всех судов линии находится  $x_i = m_i V_i$  контейнеров, измеренных в TEU. Кроме того, при среднем сроке хранения  $t_i$ , необходимом для накопления и расформирования каждой судовой партии, требуется  $y_i = v_i \frac{\tau_i}{T_i^{\text{инт}}}$  контейнеров, где  $T_i^{\text{инт}} = \frac{365}{N_i}$  — средний интервал судозахода. Отсюда общее число контейнеров  $z_i$ , необходимое для работы линии, составляет

$$Z_i = x_i + 2y_i \quad (2)$$

Пусть с каждым портом  $i$  связаны  $l_{i,j}$  фидерных линий, каждая из которых имеет относительную долю в грузопотоке  $\alpha_j$ , т. е.  $Q_{i,j} = \alpha_j Q_i$ , как условно показано на рис. 2.

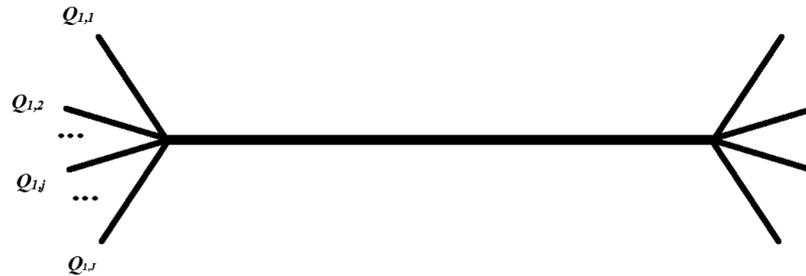


Рис. 2. Магистральная и фидерные линии

Для каждой фидерной линии все приведенные ранее рассуждения остаются в силе, но хранение партии груза в порту сопряжения должно быть исключено из рассмотрения. Таким образом, для работы на фидерной линии требуется  $z_{i,j} = x_{i,j} + y_{i,j}$  контейнеров. Окончательно общее количество контейнеров, необходимое для работы одной магистральной линии и связанных с ней фидерных линий, определяется в соответствии с выражением

$$z_i = x_i + 2y_i + \sum_{j=1}^J (x_{i,j} + y_{i,j}). \quad (3)$$

Аналогичные рассуждения могут быть справедливы также для анализа процесса перевозки между портом и точками зарождения / потребления грузопотоков (рис. 3).

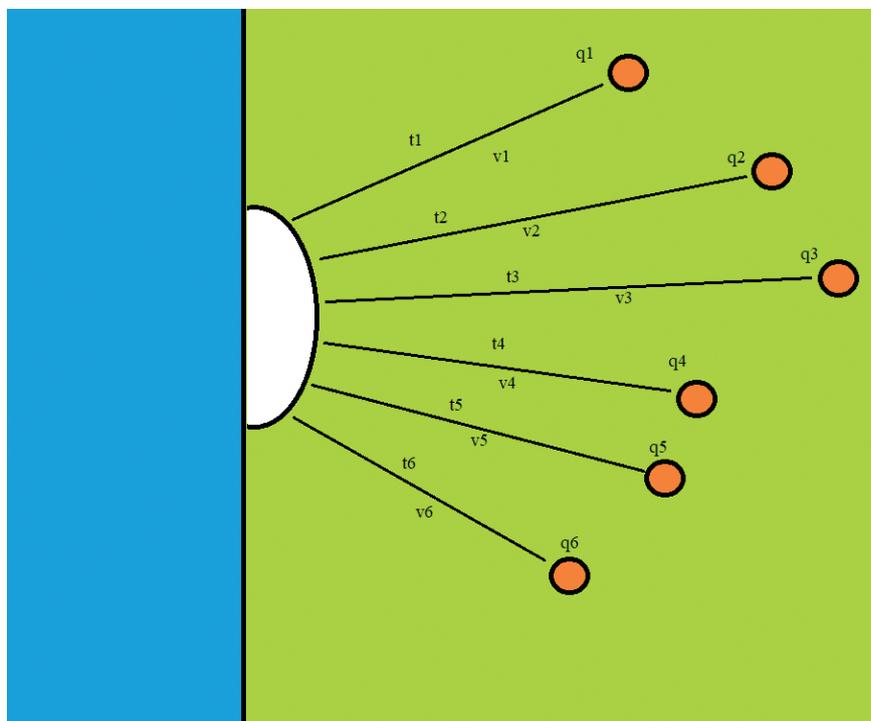


Рис. 3. Хинтерленд порта

Общее количество контейнеров с учетом линий наземного распределения будет определяться выражением

$$Z = x_i + 2y_i + \sum_{j=1}^J (x_{i,j} + y_{i,j}) + \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J (x_{i,j,k} + y_{i,j,k}), \quad (4)$$

где  $x_{i,j,k}$  — количество груза, находящееся в движении на маршруте из конечного фидерного порта  $j$  магистральной линии  $i$  в некоторую точку  $k$  в его хинтерленде, определяемое исходя из объема груза в этом направлении, длины маршрута и скорости движения;  $y_{i,j,k}$  — объем единовременного хранения в этом пункте.

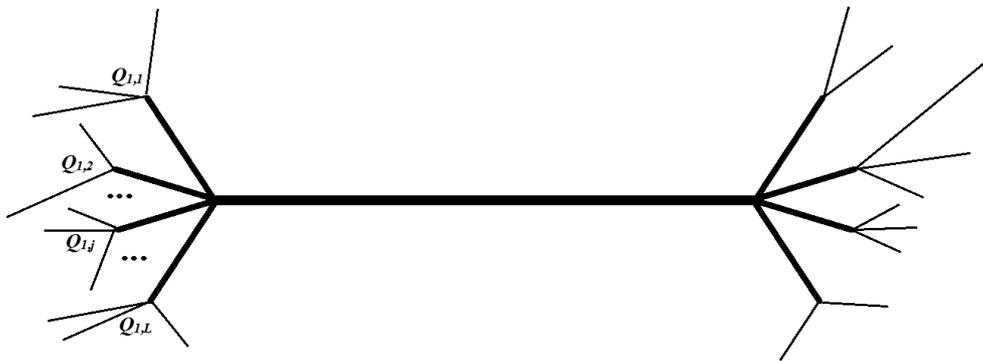


Рис. 4. Магистральная линия, фидерные линии и наземное распределение

Пример подобной конфигурации показан на рис. 4.

### Результаты (Results)

Рассмотрим упрощенную систему морских маршрутов контейнерного грузораспределения типа хаб-ступицы (рис. 5).

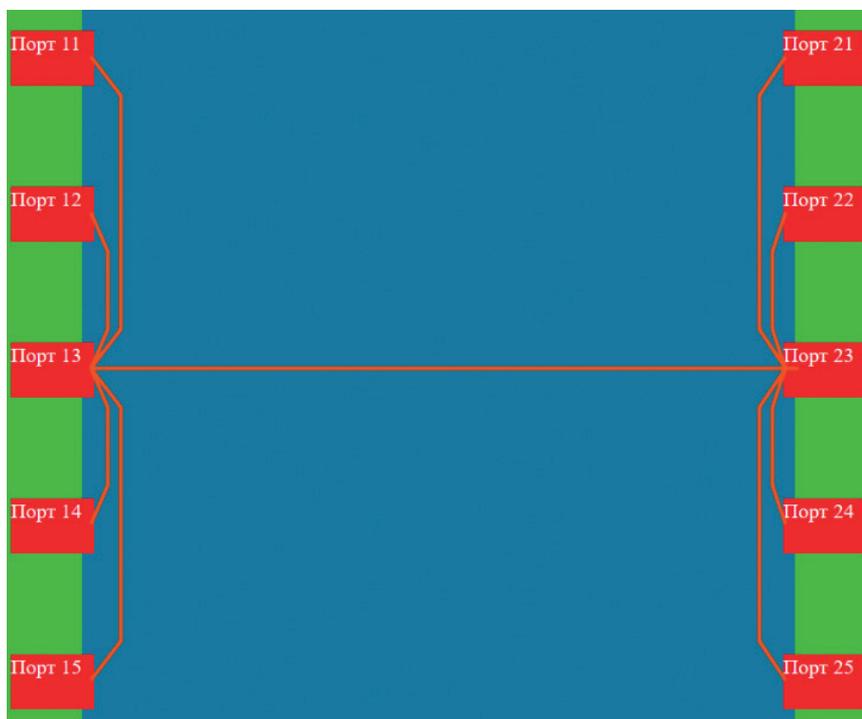


Рис. 5. Система контейнерного грузораспределения

Пусть грузооборот портов-хабов составляет 1 000 000 TEU. Дистанции между терминалами приведены в табл. 1.

Таблица 1

## Расстояние между терминалами

Наименование маршрута	Тип маршрута	Расстояние, мили
Порт 13 – Порт 11	Фидерный	500
Порт 13 – Порт 12	Фидерный	250
Порт 13 – Порт 14	Фидерный	250
Порт 13 – Порт 15	Фидерный	500
Порт 13 – Порт 23	Магистральный	1000
Порт 23 – Порт 22	Фидерный	500
Порт 23 – Порт 22	Фидерный	250
Порт 23 – Порт 24	Фидерный	250
Порт 23 – Порт 25	Фидерный	500

На магистральном маршруте используются суда вместимостью 10 000 TEU со средней скоростью хода 18 уз, на фидерных — суда вместимостью 1000 TEU со скоростью хода 20 уз. В данном случае количество судов, необходимое для удовлетворения спроса, составит по два судна на каждый фидерный маршрут и одно на магистральный (табл. 2).

Таблица 2

## Расчет количества судов

Наименование	Размерность	Обозначение	13–23	13–11	13–12
Грузооборот	TEU/год	$Q_i$	1 000 000	250 000	250 000
Расстояние	Морские мили	$D_i$	1 000	500	250
Вместимость судна	TEU	$V_i$	10 000	1000	1000
Скорость	уз	$s_i$	18	20	20
Время обработки в порту	сут	$t_i$	2	2	2
Суточная скорость	Морские мили/сут	$S_j$	432	480	480
Время хода	сут	$T_i^{\text{ход}}$	2	1	1
Время кругового маршрута	сут	$T_i^{\text{рейс}}$	9	6	5
Количество рейсов судна в год	1/год	$n_i$	42	60	72
Необходимое количество рейсов	Ед.	$N_j$	50	125	125
Необходимое количество судов	Ед.	$m_j$	1	2	2

Исходя из этого, количество контейнеров, необходимое для обработки заданного грузооборота, составит 12 тыс. TEU на магистральном маршруте и по 7 тыс. TEU на фидерных маршрутах (табл. 3).

Таблица 3

## Расчет количества контейнеров

Наименование	Размерность	Обозначение	13–23	13–11	13–12
Количество контейнеров на борту судна	TEU	$x_i$	11 821	2 083	1 727
Срок накопления партии	сут	$\tau_i$	7	7	7
Интервалы между судозаходами	сут	$T_u^{\text{int}}$	7	3	3
Количество контейнеров, хранящихся в порт	TEU	$y_i$	9 589	2 397	2 397
Общее количество контейнеров	TEU	$z_i$	11 821	6 878	6 521

Таким образом, общее количество контейнеров, необходимое для обеспечения заданного грузооборота контейнерной линии, составит:  $11821 + 4 \cdot 6878 + 4 \cdot 6521 = 65417$  TEU.

### Обсуждение (Discussion)

Приведенные в работе рассуждения справедливы для равномерного грузопотока. В то же время контейнерные перевозки могут характеризоваться существенными разбросами в объемах отправляемых контейнерных партий. Эти разбросы могут оказать существенное влияние на необходимое количество контейнеров, используемых на линии. Для учета таких флуктуаций необходимо использовать методы имитационного моделирования, которые позволяют получить распределение плотности вероятности потребности в контейнерах (рис. 6).

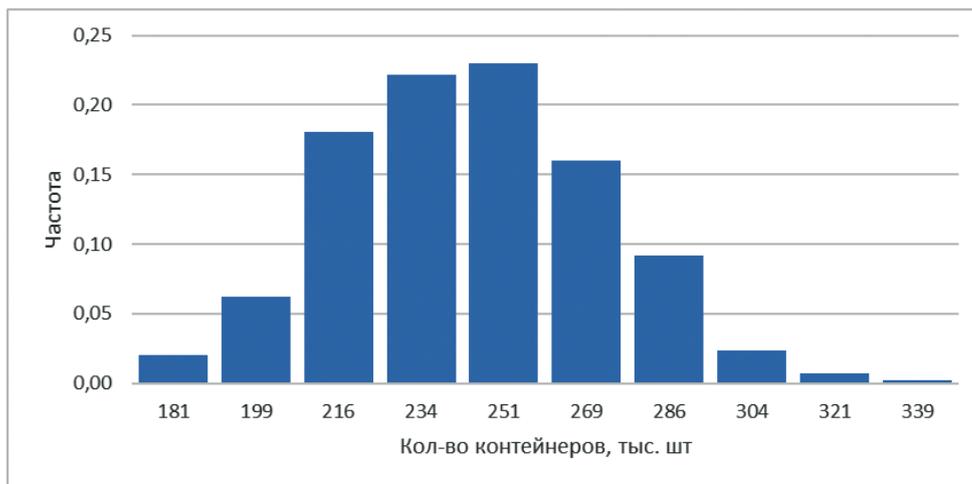


Рис. 6. Гистограмма распределения вероятности потребности в контейнерах

Кроме того, приведенные в работе рассуждения справедливы также для простых систем линейного судоходства, когда один маршрут связывает только два порта. В то же время в современных системах контейнерного грузораспределения, как правило, используются сложные круговые маршруты, включающие большое количество портов с разными объемами грузопотоков [9], [10]. Следовательно, данный подход должен быть дополнен возможностью сравнения различных конфигураций контейнерного сервиса.

### Выводы (Conclusions)

На основе проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. В основе управления современной системы контейнерного грузораспределения лежит оптимальная расстановка флота судоходной компании и распределение контейнерного оборудования.
2. Изменение конфигурации и принципов организации линейного сервиса коренным образом меняет структуру требуемых затрат и качество предоставляемых услуг.
3. Основной количественной оценкой для сравнения разных схем организации линейного сервиса является количество судов и контейнеров, необходимых для обеспечения заданного грузопотока.
4. Рассмотренные в работе принципиальные зависимости могут быть использованы для проведения анализа более сложных систем контейнерного грузораспределения.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Fremont A. Global maritime networks: The case of Maersk / A. Fremont // Journal of Transport Geography. — 2007. — Vol. 15. — Is. 6. — Pp. 431–442. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2007.01.005.
2. Ha Y. S. An analysis of the competitiveness of major liner shipping companies / Y. S. Ha, J. S. Seo // The Asian Journal of Shipping and Logistics. — 2017. — Vol. 33. — Is. 2. — Pp. 53–60. DOI: 10.1016/j.ajsl.2017.06.002.

3. Slack B. Strategic alliances in the container shipping industry: a global perspective / B. Slack, C. Comtois, R. McCalla // *Maritime Policy & Management*. — 2002. — Vol. 29. — Is. 1. — Pp. 65–76. DOI: 10.1080/03088830110063694.
4. Xu F. Game theory analysis of container port alliance / F. Xu, H. Lu, N. Ding, J. Liu // *Journal of Coastal Research*. — 2015. — Is. 73 (10073). — Pp. 635–640. DOI: 10.2112/SI73–110.1.
5. Panayides P. M. Maritime logistics and global supply chains: towards a research agenda / P. M. Panayides // *Maritime Economics & Logistics*. — 2006. — Vol. 8. — Is. 1. — Pp. 3–18. DOI: 10.1057/palgrave.mel.9100147.
6. Agarwal R. Ship scheduling and network design for cargo routing in liner shipping / R. Agarwal, Ö. Ergun // *Transportation Science*. — 2008. — Vol. 42. — Is. 2. — Pp. 175–196. DOI: 10.1287/trsc.1070.0205.
7. Grzelakowski A. S. Global container shipping market development and Its impact on mega logistics system / A. S. Grzelakowski // *TransNav: International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. — 2019. — Vol. 13. — No. 3. — Pp. 529–535. DOI: 10.12716/1001.13.03.06.
8. Anwar S. T. Global strategy gone astray: Maersk’s big box boats and the world shipping industry / S. T. Anwar // *Thunderbird International Business Review*. — 2020. — Vol. 62. — Is. 2. — Pp. 183–196. DOI: 10.1002/tie.22115.
9. 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.
10. Larsen R. B. Model predictive control for simultaneous planning of container and vehicle routes / R. B. Larsen, B. Atasoy, R. R. Negenborn // *European Journal of Control*. — 2021. — Vol. 57. — Pp. 273–283. DOI: 10.1016/j.ejcon.2020.06.003.

## REFERENCES

1. Fremont, Antoine. “Global maritime networks: The case of Maersk.” *Journal of Transport Geography* 15.6 (2007): 431–442. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2007.01.005.
2. Ha, Yeong Seok, and Jung Soo Seo. “An analysis of the competitiveness of major liner shipping companies.” *The Asian Journal of Shipping and Logistics* 33.2 (2017): 53–60. DOI: 10.1016/j.ajsl.2017.06.002.
3. Slack, Brian, Claude Comtois, and Robert McCalla. “Strategic alliances in the container shipping industry: a global perspective.” *Maritime Policy & Management* 29.1 (2002): 65–76. DOI: 10.1080/03088830110063694.
4. Xu, Fangqin, Haifeng Lu, Nan Ding, and Jingao Liu. “Game theory analysis of container port alliance.” *Journal of Coastal Research* 73 (10073) (2015): 635–640. DOI: 10.2112/SI73-110.1
5. Panayides, Photis M. “Maritime logistics and global supply chains: towards a research agenda.” *Maritime Economics & Logistics* 8.1 (2006): 3–18. DOI: 10.1057/palgrave.mel.9100147/
6. Agarwal, Richa, and Özlem Ergun. “Ship scheduling and network design for cargo routing in liner shipping.” *Transportation Science* 42.2 (2008): 175–196. DOI: 10.1287/trsc.1070.0205.
7. Grzelakowski, A. S. “Global container shipping market development and Its impact on mega logistics system.” *TransNav: International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation* 13.3 (2019): 529–535. DOI: 10.12716/1001.13.03.06.
8. Anwar, Syed Tariq. “Global strategy gone astray: Maersk’s big box boats and the world shipping industry.” *Thunderbird International Business Review* 62.2 (2020): 183–196. DOI: 10.1002/tie.22115.
9. 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.
10. 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.

## 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 12 июля 2021 г.  
Received: July 12, 2021.*