

## ПОРТЫ, ПОРТОВОЕ ХОЗЯЙСТВО И ТРАНСПОРТНАЯ ЛОГИСТИКА

### PORTS, ADMINISTRATION OF PORTS AND TRANSPORT LOGISTICS

Научная статья  
УДК 656.6  
<https://doi.org/10.24143/2073-1574-2022-3-82-89>

#### Расчет вместимости склада навалочных грузов морского порта с помощью имитационного моделирования

---

*Александр Львович Кузнецов<sup>1</sup>, Александр Валентинович Галин<sup>2✉</sup>,  
Светлана Сергеевна Валькова<sup>3</sup>, Адам Михайлович Сампиев<sup>4</sup>*

<sup>1,2</sup>Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова,  
Санкт-Петербург, Россия, [galin2403@gmail.com](mailto:galin2403@gmail.com)<sup>✉</sup>

<sup>3</sup>Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,  
Владивосток, Россия

<sup>4</sup>АО «ЛЕНМОРНИИПРОЕКТ»,  
Санкт-Петербург, Россия

---

**Аннотация.** Рассматриваются нормативные документы, регламентирующие правила и нормы проектирования торговых портов и терминалов. Обосновано, что логика создания и построения существующих норм проектирования не отвечает современным требованиям к проектированию портов и терминалов, т. к. понятие нормативного запаса времени в соответствующих документах не раскрывается, а его связь с равномерной работой железнодорожного транспорта, не зависящей от подхода судов или нерегулярного судоходства, не отображается. Представляется, что все приведенные в нормах соображения относятся лишь к той компоненте объема хранения, которая обеспечивает бесперебойное обслуживание судов у причала, т. е. составляют технологический объем складирования. Тыловой фронт в этом случае обеспечивает постоянное поддержание имеющегося запаса на уровне, исключающем отказ в обработке судна. Очевидно, что использование существующих норм ведет к строительству избыточных перегрузочных мощностей, удорожанию проекта и увеличению срока его окупаемости. В то же время практика доказывает, что объем хранимого на складе груза в большей мере определяется неравномерностью прибытия судов. Целесообразно использование инструментов имитационного моделирования для расчета вместимости склада. Использование метода имитационного моделирования обеспечивает более точный расчет необходимой грузоместности склада и позволяет избежать дополнительных расходов, что в конечном итоге положительно влияет на конкурентоспособность проектируемого грузового порта.

**Ключевые слова:** вместимость склада, навалочный груз, имитационное моделирование, грузопоток, судозаход

**Для цитирования:** Кузнецов А. Л., Галин А. В., Валькова С. С., Сампиев А. М. Расчет вместимости склада навалочных грузов морского порта с помощью имитационного моделирования // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2022. № 3. С. 82–89. <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2022-3-82-89>.

Original article

## Analysis of seaport bulk cargo warehouse capacity by using simulation modeling

Alexander L. Kuznetsov<sup>1</sup>, Alexander V. Galin<sup>2</sup>✉, Svetlana S. Valkova<sup>3</sup>, Adam M. Sampiev<sup>4</sup>

<sup>1, 2</sup>Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,  
Saint-Petersburg, Russia, galin2403@gmail.com✉

<sup>3</sup>Far Eastern State Technical Fisheries University,  
Vladivostok, Russia

<sup>4</sup>LENMOTNIIPROEKT, JSC,  
Saint-Petersburg, Russia

**Abstract.** The article considers the regulatory documents governing the rules and regulations for the design of commercial ports and terminals. It has been shown that the logic of creating the current design standards does not meet the modern requirements for the design of ports and terminals, since the concept of a standard time margin is not disclosed in the documents, and its relation with a uniform operation of railway transport, which does not depend on the approach of ships or irregular navigation, is not given. It appears that all the considerations given in the norms refer only to that component of the storage volume that ensures uninterrupted service for ships at berth, i.e. makes up the technological volume of warehousing. The rear front in this case ensures the continuous maintenance of the reserve at a level that excludes failure handling the vessel. It is obvious that using the existing standards leads to constructing the excessive transshipment capacities, increasing cost of the project and a longer payback period. At the same time, practice shows that the volume of cargo stored in a warehouse is mostly determined by the irregularity of ship arrival. It is advisable to use simulation tools to calculate the storage capacity. Using the simulation method provides a more accurate analysis of the required cargo capacity of the warehouse, and helps avoid additional costs, which ultimately has a positive effect on the competitiveness of the projected cargo port.

**Keywords:** warehouse capacity, bulk cargo, simulation modeling, cargo traffic, ship call

**For citation:** Kuznetsov A. L., Galin A. V., Valkova S. S., Sampiev A. M. Analysis of seaport bulk cargo warehouse capacity by using simulation modeling. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technologies*. 2022;3:82-89. (In Russ.) <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2022-3-82-89>.

### Введение

Нормативные документы, регламентирующие проектирование морских торговых портов [1–4] и, в частности, введенные в 2018 г. СП 350.1326000.2018 «Нормы технологического проектирования морских портов» (далее – Нормы), содержат прямые, но неясные рекомендации по расчету размера склада навалочных грузов (Приложение М).

В Нормам указывается, что расчетная вместимость склада определяется по формуле

$$E = kD + e_3,$$

где  $k$  – коэффициент сложности исходящего грузопотока, учитывающий превышение наличного количества груза в связи с требованиями рациональной загрузки судна и возможным несоответствием груза и судна по портам назначения, принимают равным 1,0–1,5 для однородных грузов; 1,3–1,6 – для смешанных;  $D$  – чистая грузоподъемность расчетного судна, т;  $e_3$  – запас вместимости, т.

Запас вместимости определяют по формуле

$$e_3 = Pn,$$

где  $P$  – интенсивность грузовых работ на причале по наибольшему расчетному судну, т/сут;  $n$  – нормативный запас времени. При равномерной работе железнодорожного транспорта, не зависящей от подхода судов, нормативный запас принимают равным 2 сут, а при нерегулярном судоходстве – 4 сут.

Во всех случаях вместимость прикормонного склада на одном причале должна быть в пределах  $1,3D < E < 2,5D$ .

Логика норм, по всей видимости, такова: тыловой фронт, ввиду малых грузовых партий по сравнению с судовыми и относительно регулярного расписания движения, можно считать работающим с постоянной интенсивностью поступления (отправки) груза. К моменту прибытия судна под погрузку на складе должна быть сформирована полная судовая партия  $D$ . Исходя из некоторых дополнительных требований, не весь этот груз может быть включен в судовую партию. Следовательно, на складе должен храниться груз в количестве больше одной судовой партии, т. е.  $kD$ , где  $k > 1$  есть «коэффициент сложности исходящего грузопотока». Методика формирования этого коэффициента

Кузнецов А. Л., Галин А. В., Валькова С. С., Сампиев А. М. Расчет вместимости склада навалочных грузов морского порта с помощью имитационного моделирования

не описывается, и выбор значения остается за проектировщиком [5].

Понятие нормативного запаса времени нигде не объясняется в полной мере, а его связь с равномерной работой железнодорожного транспорта, не зависящей от подхода судов или нерегулярного судоходства, еще более запутана. «Интенсивность грузовых работ на причале по наибольшему расчетному судну» также требует осмысления.

Кроме того, все приведенные в Нормах соображения относятся лишь к той компоненте объема хранения, которая обеспечивает бесперебойное обслуживание судов у причала, т. е. составляет технологический объем складирования. Тыловой фронт в данном случае обеспечивает постоянное поддержание этого запаса на уровне, исключающем отказ в обработке судна.

В то же время практика подтверждает, что объем хранимого на складе груза в большей мере определяется неравномерностью прибытия судов. Действительно, факт раннего прибытия судна под загрузку может совпадать с фактом дефицита груза, который еще не успели завести на склад, позднее прибытие судна вызывает необходимость хранения поступающего в течение времени задержки груза. В случае раннего прибытия на складе следует иметь некоторый (страховочный) запас груза, в другом случае возникает избыточное его количество [6]. Возможно, что в Нормах пытались описать именно эти механизмы, с чем можно было бы согласиться, но административно-командный стиль определения значений вызывает возражения.

#### Метод имитационного моделирования

За средний интервал между судозаходами тыловой фронт должен справиться (накопить или вывезти) с одной судовой партией  $D$ . Если судно придет на время  $t$  позже или раньше назначенного срока, т. е. среднего интервала  $T_{\text{инт}}$  (в момент времени  $(T_{\text{инт}} - t)$  или  $(T_{\text{инт}} + t)$ ), то за время  $t$  на складе будет формироваться дефицит или избыток груза, величина которого составит значение  $Q_{\text{год}} / 365t$  (рис. 1).

Тогда становится ясно, что под «нормативным запасом времени» в Нормах понимается именно эта величина – отклонение времени судозахода от ожидаемого (т. е. разница между ETA (Estimated Time of Arrival – ожидаемое время прибытия) и ATA (Actual Time of Arrival – фактическое время прибытия)).

Максимальный и средний объем хранения грузов на складе, очевидно, зависит от степени неравномерности поступления судозаходов, объема годового грузопотока и флуктуации вместимости судов. При этом Нормы рекомендуют пользоваться объемом партии наибольшего судна [7].

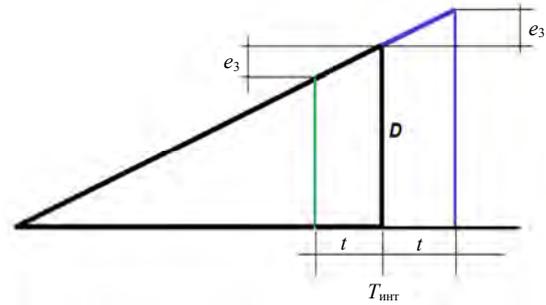


Рис. 1. Изменение объема хранения от раннего или позднего прибытия судна

Fig. 1. Change in storage capacity depending on early or late arrival of the vessel

Интервал между поступлением судов является случайной величиной, как и объем конкретной судовой партии. Как следствие, колебания объема хранения приобретают стохастический характер (рис. 2).



Рис. 2. Изменения объема хранения при неравномерных интервалах захода и судовых партиях

Fig. 2. Changes in storage capacity depending on uneven call intervals and ship lots

Таким образом, получение адекватной оценки аналитическими методами затруднительно, поскольку конечный результат определяется комбинацией нескольких случайных факторов. Как правило, для количественной оценки подобных величин используют методы имитационного моделирования. Пример результатов, полученных подобным образом для расчетного значения склада в работе [8], приведен на рис. 3.

Если закон распределения случайной величины – интервала между судозаходами – известен, существует возможность с помощью имитационного моделирования построить вероятность отклонения объема хранения от математического ожидания  $D$  [9, 10] (рис. 4).

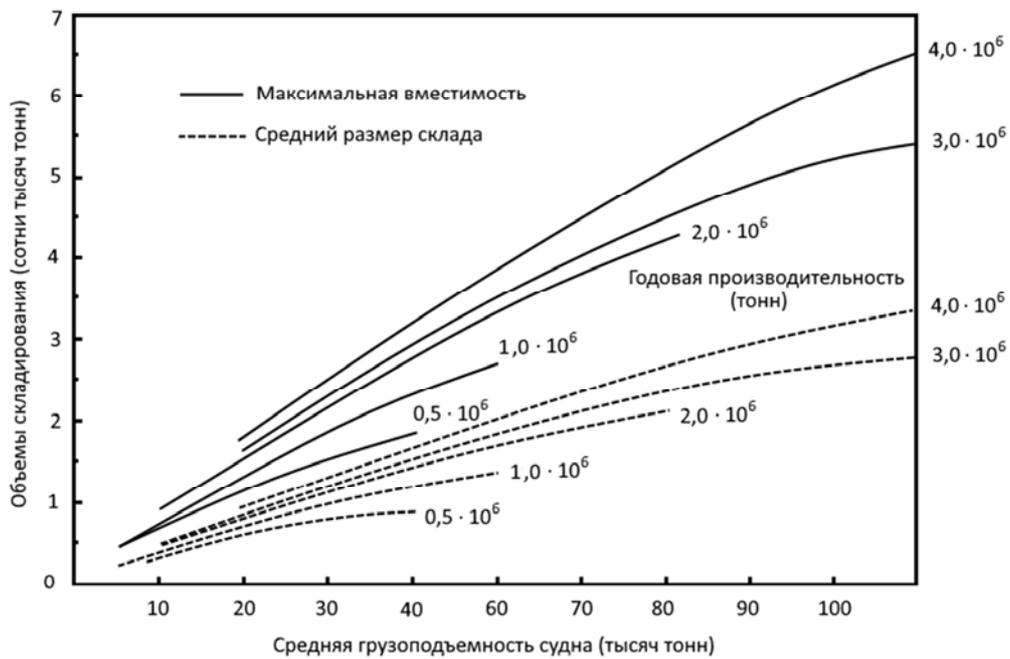


Рис. 3. Зависимость максимального и среднего объема складирования от вместимости судна и грузопотока  
 Fig. 3. Dependence of the maximum and average volume of storage on the vessel capacity and cargo traffic

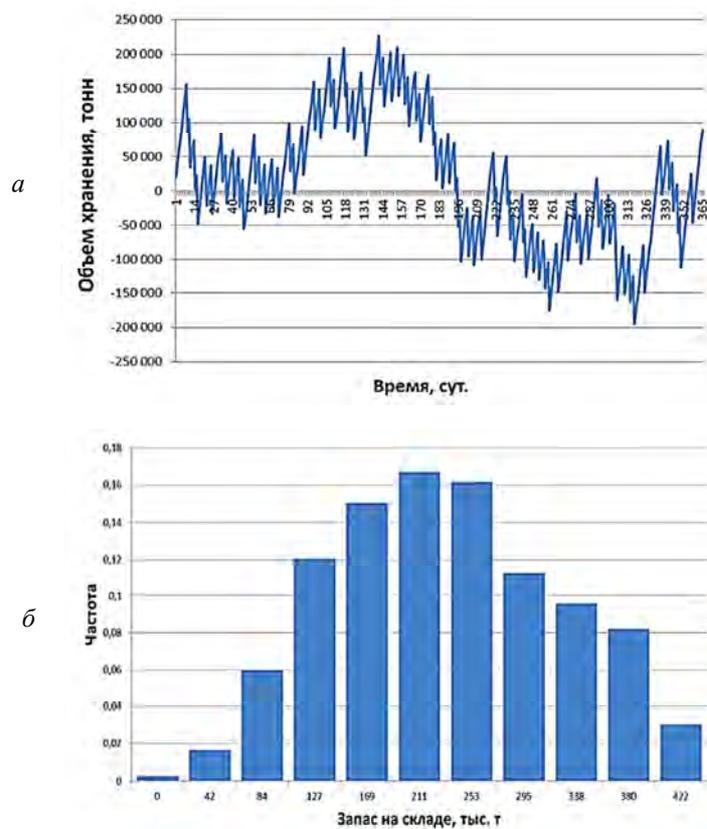


Рис. 4. Динамика изменения объема хранения (а) и его вероятность (б)  
 Fig. 4. Dynamics of changes in storage capacity (а) and its probability (б)

Кузнецов А. Л., Галин А. В., Валькова С. С., Сампиев А. М. Расчет вместимости склада навалочных грузов морского порта с помощью имитационного моделирования

Отрицательные значения объема складирования указывают на наличие дефицита груза для обработки судна (для исключения чего следует предусмотреть величину запаса  $e_3$ ), величина которого определяется соответствующим минимальным значением. Наблюдается сдвиг графика вверх на соответствующее значение (рис. 5).

Полученные результаты моделирования близки к значениям, приведенным на рис. 3. В то же время более наглядным является представление, когда по горизонтальной оси отображается грузопоток, а в качестве параметра семейства графиков используется вместимость судов (рис. 6).

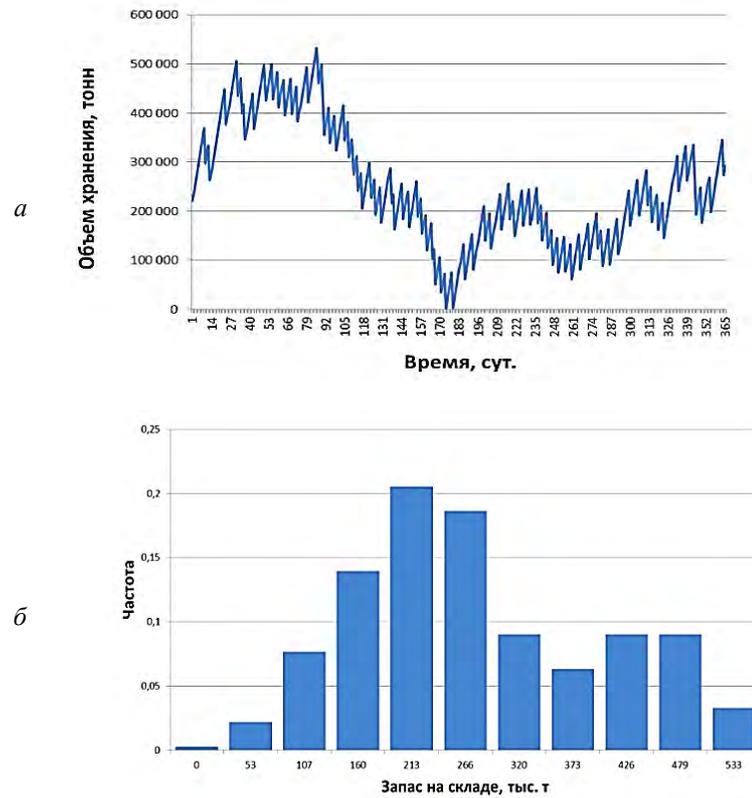


Рис. 5. Динамика изменения объема хранения с запасом, исключающим дефицит груза (а), и его вероятность (б)

Fig. 5. Dynamics of changes in storage capacity with a margin that eliminates the shortage of cargo (a) and its probability (b)

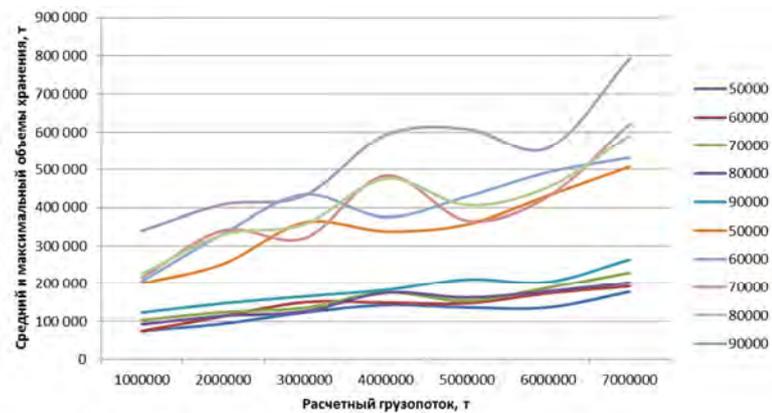


Рис. 6. Зависимость максимального и среднего объема складирования от грузопотока и вместимости судов

Fig. 6. Dependence of the maximum and average volume of storage on the cargo traffic and capacity of vessels

### Результаты исследования

Вышесказанное относится к обеспечению объема хранения, предназначенного для бесперебойного обслуживания судов у причалов. В то же время груз на складе морского порта может храниться не только по технологическим, но и по иным причинам, например при торговле «на споте», логистической дора-

ботке груза (очисткой, блендированием и др.) или временном падении цен на продукт. Подобный логистический или коммерческий аспект приводит к тому, что завезенный на склад груз вывозится не по мере подхода судов, а с некоторой задержкой  $T_{xp}$ , как условно проиллюстрировано на рис. 7.

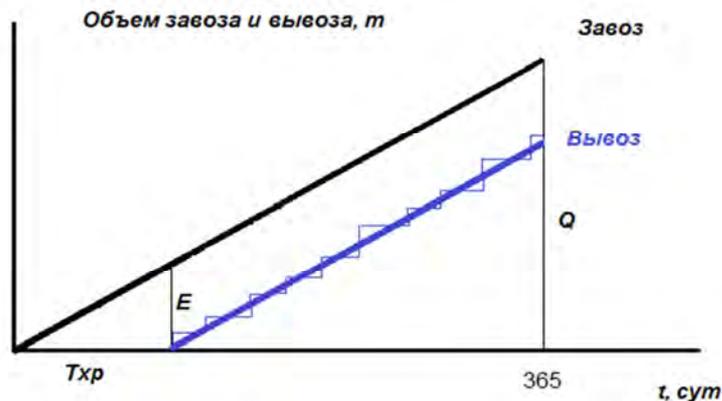


Рис. 7. Объем складирования как разность между завозом и вывозом

Fig. 7. Storage capacity as the difference between import and export

Согласно рис. 7 на 365 сутки года завезенный объем груза составляет годовой грузопоток  $Q$ , откуда значение объема хранения  $E$ , вызванное этой задержкой, определяется из подобия треугольников  $Q / 365 = E / T_{xp}$ , или  $E = Q(T_{xp} / 365)$ .

### Заключение

Приведенные результаты моделирования (см. рис. 6) свидетельствуют, что для технологической обработки судов при каждом значении годового грузопотока  $Q$  на складе требуется определенный средний запас  $E_0$ , исходя из чего можно формально

рассчитать средний срок хранения груза на складе терминала по технологическим причинам:  $T_0 = (E_0 \cdot 365) / Q$ . Например, для грузопотока  $Q = 7\,000\,000$  т запас  $E_0 = 200\,000$  т, откуда  $T_0 = (E_0 \cdot 365) / Q = (200\,000 \cdot 365) / 7\,000\,000 = 10$  сут. Эта компонента хранения относится к осреднению зубцов «извилистой» кривой вывоза (см. рис. 7). Рассчитанный из соображений коммерческого хранения объем  $E = Q(T_{xp} / 365)$  будет формировать общий срок хранения груза на складе терминала как сумму  $T_{скл} = T_0 + T_{xp}$ .

### Список источников

1. Градостроительный кодекс РФ от 29.12.2004 № 190-ФЗ (ред. от 30.12.2021). URL: [https://www.mos.ru/upload/documents/files/7220/GradostroitelniikodeksRossiiskoiFederacii\(sizmeneniyamina30dekabrya2021goda\)\(redakciya\\_Tekst.pdf](https://www.mos.ru/upload/documents/files/7220/GradostroitelniikodeksRossiiskoiFederacii(sizmeneniyamina30dekabrya2021goda)(redakciya_Tekst.pdf) (дата обращения: 17.04.2022).
2. СП 350.1326000.2018. Нормы технологического проектирования морских портов (утв. приказом Минтранса России от 01.03.2018 № 75). М.: Стандартинформ, 2018. 218 с.
3. СтО 14649425-0002-2016. Положение о порядке разработки и согласования Ходатайства (Декларации) о намерениях инвестирования в строительство и реконструкцию объектов инфраструктуры морского порта (утв. приказом ФГУП «Росморпорт» от 24.06.2016 № 294). М.: Росморречфлот, 2016. 16 с.

4. О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию: постановление Правительства РФ от 16.02.2008 № 87 (с изменениями и дополнениями). URL: <https://base.garant.ru/12158997/> (дата обращения: 17.04.2022).
5. Кузнецов А. Л., Кириченко А. В., Щербакова-Слюсаренко В. Н. Имитационное моделирование в задачах анализа операций в морских портах // Вестн. Гос. ун-та мор. и реч. флота им. адм. С. О. Макарова. 2018. Т. 10. № 2. С. 259–274. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-2-259-274.
6. Кузнецов А. Л., Кириченко А. В., Погodin В. А., Щербакова-Слюсаренко В. Н. Роль имитационного моделирования в технологическом проектировании и оценке параметров грузовых терминалов // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология. 2017. № 2. С. 93–102. DOI: 10.24143/2073-1574-2017-2-93-102.

7. Кузнецов А. Л., Кириченко А. В., Ткаченко А. С., Попов Г. Б. Имитационное моделирование как инструмент расчета наземных контейнерных терминалов // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология. 2018. № 1. С. 100–108. DOI: 10.24143/2073-1574-2018-1-100-108.

8. Купцов Н. В. Разработка методики расчета оптимальной производительности морского грузового фронта для терминалов по экспортной перевалке угля на ран-

них стадиях проектирования // Вестн. Гос. ун-та мор. и реч. флота им. адм. С. О. Макарова. 2017. Т. 9. № 5. С. 925–940. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-5-925-940.

9. Kwak Y. H., Ingall L. Exploring Monte Carlo Simulation Applications for Project Management // IEEE Engineering management review. 2009. V. 37. N. 2. P. 83–91.

10. Fishman G. S. Monte Carlo: concepts, algorithms, and applications. Springer, 1996. 587 p.

## References

1. *Gradostroitel'nyi kodeks RF ot 29.12.2004 № 190-FZ (red. ot 30.12.2021)* [Town Planning Code of the Russian Federation of December 29, 2004 No. 190-FZ (as amended on December 30, 2021)]. Available at: [https://www.mos.ru/upload/documents/files/7220/Gradostroitelniki kodeks Rossiiskoi Federacii \(s izmeneniyami na 30 dekabrya 2021 goda\) \(redakciya Tekst.pdf](https://www.mos.ru/upload/documents/files/7220/Gradostroitelniki kodeks Rossiiskoi Federacii (s izmeneniyami na 30 dekabrya 2021 goda) (redakciya Tekst.pdf) (accessed: 17.04.2022).

2. *SP 350.1326000.2018. Normy tekhnologicheskogo proektirovaniia morskikh portov (utv. prikazom Mintransa Rossii ot 01.03.2018 № 75)* [SP 350.1326000.2018. Norms of technological design of seaports (approved by order of the Ministry of Transport of Russia dated March 1, 2018 No. 75)]. Moscow, Standartinform Publ., 2018. 218 p.

3. *StO 14649425-0002-2016. Polozhenie o poriadke razrabotki i soglasovaniia Khodataistva (Deklaratsii) o namereniiakh investirovaniia v stroitel'stvo i rekonstruktsiiu ob"ektov infrastruktury morskogo porta (utv. prikazom FGUP «Rosmorport» ot 24.06.2016 № 294)* [STO 14649425-0002-2016. Regulations on the procedure for the development and approval of the Application (Declaration) of intent to invest in the construction and reconstruction of seaport infrastructure facilities (approved by order of FSUE "Rosmorport" dated June 24, 2016 No. 294)]. Moscow, Rosmorrechflot Publ., 2016. 16 p.

4. *O sostave razdelov proektnoi dokumentatsii i trebovaniiax k ikh soderzhaniiu: postanovlenie Pravitel'stva RF ot 16.02.2008 № 87 (s izmeneniiami i dopolneniiami)* [On composition of sections of project documentation and requirements for their content: Decree of the Government of the Russian Federation of February 16, 2008 No. 87 (with amendments and additions)]. Available at: <https://base.garant.ru/12158997/> (accessed: 17.04.2022).

5. Kuznetsov A. L., Kirichenko A. V., Shcherbakova-Sliusarenko V. N. Imitatsionnoe modelirovanie v zadachakh analiza operatsii v morskikh portakh [Simulation modeling

in problems of analysis of operations in seaports]. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova*, 2018, vol. 10, no. 2, pp. 259–274. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-2-259-274.

6. Kuznetsov A. L., Kirichenko A. V., Pogodin V. A., Shcherbakova-Sliusarenko V. N. Rol' imitatsionnogo modelirovaniia v tekhnologicheskome proektirovanii i otsenke parametrov gruzovykh terminalov [Role of simulation modeling in technological design and assessment of parameters of cargo terminals]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Serii: Morskaia tekhnika i tekhnologiia*, 2017, no. 2, pp. 93–102. DOI: 10.24143/2073-1574-2017-2-93-102.

7. Kuznetsov A. L., Kirichenko A. V., Tkachenko A. S., Popov G. B. Imitatsionnoe modelirovanie kak instrument rascheta nazemnykh konteynernykh terminalov [Simulation modeling as tool for calculating ground container terminals]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Serii: Morskaia tekhnika i tekhnologiia*, 2018, no. 1, pp. 100–108. DOI: 10.24143/2073-1574-2018-1-100-108.

8. Kuptsov N. V. Razrabotka metodiki rascheta optimal'noi proizvoditel'nosti morskogo gruzovogo fronta dlia terminalov po eksportnoi perevalke uglia na rannikh stadiiakh proektirovaniia [Developing methods of calculating optimal productivity of sea cargo front for terminals of coal export transshipment at early stages of design]. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova*, 2017, vol. 9, no. 5, pp. 925–940. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-5-925-940.

9. Kwak Y. H., Ingall L. Exploring Monte Carlo Simulation Applications for Project Management. *IEEE Engineering management review*, 2009, vol. 37, no. 2, pp. 83–91.

10. Fishman G. S. *Monte Carlo: concepts, algorithms, and applications*. Springer, 1996. 587 p.

Статья поступила в редакцию 21.04.2022; одобрена после рецензирования 20.06.2022; принята к публикации 30.06.2022  
The article was submitted 21.04.2022; approved after reviewing 20.06.2022; accepted for publication 30.06.2022

## Информация об авторах / Information about the authors

**Александр Львович Кузнецов** — доктор технических наук, профессор; профессор кафедры портов и грузовых терминалов; Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова; [thunder1950@yandex.ru](mailto:thunder1950@yandex.ru)

**Alexander L. Kuznetsov** — Doctor of Technical Sciences, Professor; Professor of the Department of Ports and Cargo Terminals; Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping; [thunder1950@yandex.ru](mailto:thunder1950@yandex.ru)

**Александр Валентинович Галин** — доктор технических наук; доцент кафедры технологии и организации перевозок; Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова; galin2403@gmail.com

**Светлана Сергеевна Валькова** — кандидат технических наук; заведующий кафедрой эксплуатации и управления транспортом; Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет; office@dvvtz.ru

**Адам Михайлович Сампиев** — кандидат экономических наук; директор по производству АО «ЛЕНМОРНИИПРОЕКТ»; adam.sampiev@lenmor.ru

**Alexander V. Galin** — Doctor of Technical Sciences; Assistant Professor of the Department of Technologies and Organization of Transportation; Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping; galin2403@gmail.com

**Svetlana S. Valkova** — Candidate of Technical Sciences; Head of the Department of Operation and Management of Transport; Far Eastern State Technical Fisheries University; office@dvvtz.ru

**Adam M. Sampiev** — Candidate of Economics; Chief Project Engineer, LENMOTNIIPROEKT, JSC; adam.sampiev@lenmor.ru

