

DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-4-679-686

DETERMINATION OF THE REQUIRED QUANTITY OF TECHNOLOGICAL RESOURCES OF PORTS AND CARGO TERMINALS BY THE METHOD OF IMITATION MODELING

O. A. Izotov, A. V. Gulyaev

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

The article: In the article was considered the key differences between the approach based on simulation and the approaches using computationally-analytical and statistical methods. Demonstrated simulation modeling which in this study examines the option of discrete-event simulation. A mathematical description of the canonical abstract automaton as a discrete device is presented, which transforms information which consists of a set of six elements. The using of the Mile and Moore models to show the functioning of the automaton in question revealed differences in the chosen approaches. The stated task is solved - the general parameters of the Moore automaton description are revealed through specific parameters of the modeled object using the method of verbal interpretation and logical operators. The ability (not ability) of the simulated system to cope (not cope) with the current task of the production line, which is the sum of the volume of orders received at that moment and the amount of outstanding operations that have been left to this moment, is revealed at a particular moment in time. Logically summed-if this volume does not exceed the available capacity of the system, all operations are performed and the queue disappears. If the available ability is not enough, the queue increases. Thus, the corresponding models are easily implemented by any software: from algorithmic languages to MS Office Excel, do not represent any independent value, and we decided to do it in detail here. As a visualization, a typical frequency spectrum is shown in the histogram of the queue length, which occurs in the most interesting case for practice, with four and five production lines.

Keywords: ports and cargo terminals, simulation, discrete event simulation, the performance of the production line, Moore automaton, model Mealy, automata theory, Boolean operators, verbal interpretation of the machine.

For citation:

Izotov, Oleg A., and Alexander V. Gulyaev. "Determination of the required quantity of technological resources of ports and cargo terminals by the method of imitation modeling." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 10.4 (2018): 679–686. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-4-679-686.

УДК 656.076

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕБУЕМОГО КОЛИЧЕСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ПОРТОВ И ГРУЗОВЫХ ТЕРМИНАЛОВ МЕТОДОМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

О. А. Изотов, А. В. Гультяев

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

В статье рассмотрены ключевые отличия подхода к расчету основных технологических параметров строящегося или реконструируемого порта (грузового терминала), опирающегося на имитационное моделирование, от подходов, использующих расчетно-аналитические и статистические методы. Продемонстрировано имитационное моделирование, в качестве которого в данном исследовании рассматривается вариант дискретно-событийного имитационного моделирования. Представлено математическое описание канонического абстрактного автомата как дискретного устройства, преобразующее информацию, которое состоит из множества элементов. Использование моделей Мили и Мура для отображения функционирования рассматриваемого автомата позволило выявить отличия в выбранных подходах. Решена поставленная задача — раскрыты общие параметры описания автомата Мура через конкретные параметры моделируемого объекта с использованием метода вербальной ин-

терпретации и логических операторов. Выявлена способность / неспособность моделируемой системы в конкретный момент времени справиться / не справиться с текущим заданием технологической линии, которое представляет собой сумму поступившего в этот момент объема заявок на операции и оставшегося к этому моменту объема невыполненных операций. Логически подытожено следующее: если этот объем не превышает имеющуюся способность системы, то все операции выполняются, и очередь исчезает. Если имеющейся способности недостаточно, очередь увеличивается. Таким образом, соответствующие модели легко реализуются любыми программными средствами: от алгоритмических языков до MS Office Excel, и не представляют собой никакой самостоятельной ценности, поэтому было принято решение подробно в статье их не описывать. В качестве визуализации приведен типичный спектр частот в гистограмме длины очереди, возникающей в наиболее интересном для практики случае — при четырех и пяти технологических линиях.

Ключевые слова: порты и грузовые терминалы, имитационное моделирование, дискретно-событийное имитационное моделирование, производительность технологической линии, автомат Мура, модель Мили, теория автоматов, логические операторы, вербальная интерпретация автомата.

Для цитирования:

Изотов О. А. Определение требуемого количества технологических ресурсов портов и грузовых терминалов методом имитационного моделирования / О. А. Изотов, А. В. Гультяев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 4. — С. 679–686. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-4-679-686.

Введение (Introduction)

Современные тенденции развития портов и грузовых терминалов показывают актуальность не только начального технологического проектирования вновь возводимых объектов инфраструктуры, но и последующего («вторичного») технологического проектирования возможного переоборудования терминалов в целях их модернизации либо перепрофилирования (смены специализации, универсализации, внедрения специализации). Это требует проведения достаточно оперативных расчетов необходимых технологических ресурсов в условиях высокой неопределенности [1] – [3]. В настоящее время сосуществуют два основных подхода к решению указанных вопросов. Основным отличием подхода, основанного на имитационном моделировании, от подходов, использующих расчетно-аналитические и статистические методы, является наличие некоторого внутреннего параметра (группы параметров), которые характеризуют внутреннее состояние моделируемого объекта [4] – [6]. В расчетно-аналитических и статистических подходах выходные параметры модели, изменение которых во времени характеризует поведение системы, в каждый момент времени полностью определяются входными параметрами [7].

В случае имитационного моделирования, в качестве которого здесь рассматривается вариант дискретно-событийного имитационного моделирования, реакция системы на входные сигналы зависит не только от входных сигналов, но и от состояния, в котором находится система в конкретный момент времени. Одновременно входные сигналы и текущее состояние системы определяют состояние системы в следующий момент времени. Таким образом, на одни и те же сигналы система может реагировать по-разному, т. е. демонстрировать разное поведение и разную последовательность смены состояния [8], [9]. Задачей настоящего исследования является обоснование метода достоверного определения перечня и количества технологических ресурсов преобразуемого порта (терминала), основанного на современных подходах к имитационному моделированию.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Используя терминологию теории автоматов, следует расчетно-аналитические и статистические модели отнести к комбинационным схемам, в то время как имитационные дискретно-событийные модели относятся к классу автоматов с памятью. Все они относятся к абстрактным автоматам [10] – [12].

Канонический абстрактный автомат представляет собой дискретное устройство, преобразующее информацию. Математическое описание такого устройства представляет собой множество, состоящее из шести элементов:

$$S = \{X, Q, Y, \delta, \lambda, q_0\},$$

где S — абстрактный автомат;

X — множество входных символов (входной алфавит): $S = \{X_1, \dots, X_m\}$;

Q — множество состояний автомата: $Q = \{q_1, \dots, q_n\}$;

Y — множество выходных символов (выходной алфавит): $Y = \{y_1, \dots, y_p\}$;

δ — функция переходов автомата из одного состояния в другое: $q_j = \delta\{q_i, x_k\}$;

λ — функция выходов: $y_l = \lambda\{q_i, x_k\}$;

q_0 — начальное состояние автомата;

q_j — следующее (новое) состояние автомата;

q_i — текущее состояние автомата;

x_k — текущий входной символ;

y_l — текущий выходной символ.

Дадим следующее определение: *автомат называется конечным, если множества X, Q, Y конечны, и бесконечным в противном случае.*

В теории автоматов используемое время t считается дискретной величиной, т. е. $t = nT$, где T представляет собой целочисленный интервал (такт), разделяющий дискретные моменты времени. Обычно для простоты и наглядности полагают $T = 1$, поскольку тогда $t = n$, т. е. дискретное время представляет собой упорядоченный ряд натуральных чисел. Представление абстрактного автомата приведено на рис. 1.

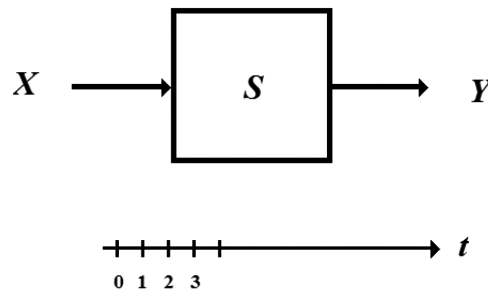


Рис. 1. Представление абстрактного автомата

Согласно приведенному определению, выходной символ абстрактного автомата $y_l \in Y$ зависит не только от входного символа $x_k \in X$, но и от того, в каком состоянии $q_i \in Q$ находится автомат. Автомат функционирует в дискретном времени (это означает, что элементы описания автомата заданы только в указанные ранее дискретные моменты).

Представим, что с некоторого момента времени на вход автомата подаются входные символы, образующие входное слово некоторой длины L (длина понимается как число символов в слове). Пусть это i -е слово состоит из символов $x_1^i, x_2^i, \dots, x_L^i$. Очевидно, что в соответствии с данным ранее определением, на выходе будет получено выходное слово той же длины $y_1^i, y_2^i, \dots, y_L^i$. Таким образом, абстрактный автомат может рассматриваться как устройство преобразования входных слов в выходные с сохранением длины передаваемого слова (рис. 2).

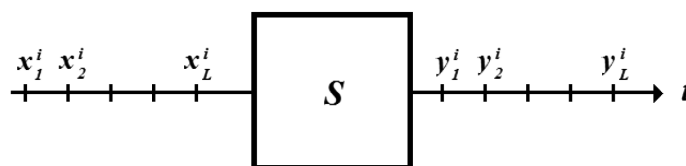


Рис. 2. Преобразование входной последовательности символов в выходную

Символы алфавитов, присутствующие на входе и выходе автомата, называют *входными и выходными сигналами*. Конкретные функции переходов и выходов полностью определяют

преобразование входных сигналов в выходные, или функционирование абстрактного автомата [7], [8].

На практике широкое распространение получили две основные модели, описывающие это функционирование, а именно: модель автомата Мили и модель автомата Мура [9], [10].

В модели Мили законы функционирования автомата представлены следующим образом:

$$\begin{aligned} q[t+1] &= \delta(q[t], x[t]); \\ y[t] &= \lambda(q[t], x[t]), \end{aligned}$$

где t — текущий момент времени;

$t+1$ — следующий момент времени;

$q[t+1]$ — состояние автомата в следующий момент времени;

$q[t]$ — состояние автомата в текущий момент времени;

$x[t]$ — входной сигнал автомата в текущий момент времени;

$y[t]$ — выходной сигнал автомата в текущий момент времени.

В модели Мура законы функционирования автомата представлены несколько по-другому:

$$\begin{aligned} q[t+1] &= \delta(q[t], x[t]); \\ y[t] &= \lambda(q[t]). \end{aligned}$$

Разница состоит в том, что в модели Мура выходной сигнал явно зависит только от состояния, а косвенно — и от входного сигнала.

В теории автоматов доказано, что любой автомат можно представить той или иной моделью. В данном исследовании соображения удобства продиктовано представление модели в виде автомата Мура. Будем представлять модель выполнения операций в условиях имеющихся технологических ресурсов в виде конечного абстрактного автомата, функционирование которого описывает его как автомат Мура. В рассматриваемом случае входным сигналом $x[t]$ будет являться средняя потребность в выполнении операций за интервал T на протяжении периода $T_{\text{зад}}$, выходным сигналом $y[t]$ — количество выполненных операций за этот интервал. Наконец, состояние автомата $q[t]$ будет характеризовать количество невыполненных к этому моменту времени заявок вследствие дефицита имеющегося оборудования.

Задачей настоящего исследования является раскрытие общих параметров описания автомата Мура через конкретные параметры моделируемого объекта.

Результаты (Result)

Пусть в некоторый момент времени t число имеющихся технологических линий составляет $N[t]$. Производительность каждой из этих линий в каждый момент времени характеризуется случайной величиной $P_n[t]$, а производительность всей системы составляет величину $P_n[t] = \sum_{n=1}^{N[t]} P_n$.

При этом $P_n[t] = \sum_{n=1}^{N[t]} P_n \neq N[t] \cdot P_n$, поскольку представляет собой сумму значений $N[t]$ случайных величин, а не увеличенное в $N[t]$ раз значение одной случайной величины P_n .

Полученное значение характеризует способность моделируемой системы в конкретный момент времени справиться с текущим заданием, которое представляет собой сумму поступившего в этот момент объема заявок на операции и оставшегося к этому моменту объема невыполненных операций. Если этот объем не превышает имеющуюся способность системы, то все операции выполняются, и очередь исчезает. Если имеющейся способности недостаточно, то очередь увеличивается [11].

Во введенных ранее обозначениях функционирование соответствующего автомата будет характеризоваться следующими законами:

$$\text{Оч.}[t + 1] = \text{Если} \{ \text{Вх.}[t] + \text{Оч.}[t] > P[t] \}, \text{то} \{ \text{Вх.}[t] + \text{Оч.}[t] - P[t] \}, \text{иначе} \{ 0 \}.$$

$$\text{Вых.}[t] = \text{Если} \{ \text{Вх.}[t] + \text{Оч.}[t] > P[t] \}, \text{то} \{ P[t] \}, \text{иначе} \{ \text{Вх.}[t] + \text{Оч.}[t] \}.$$

Вербальная интерпретация указанных операторов такова:

– если задание на выполнение операций, которое равно сумме входной и стоящей в очереди заявок $\text{Вх.}[t] + \text{Оч.}[t]$, превышает текущую пропускную способность системы $P[t]$, то это превышение задания над возможностями образует очередь $\text{Вх.}[t] + \text{Оч.}[t] - P[t]$, в противном случае очередь не образуется;

– если задание на выполнение операций $\text{Вх.}[t] + \text{Оч.}[t]$ превышает текущую пропускную способность системы $P[t]$, то выполняется максимально возможное число операций $P[t]$, в противном случае выполняется все задание.

Обсуждение (Discussion)

Очевидно, что приведенные выше логические операторы определяют конечный абстрактный автомат Мура. Соответствующая модель легко реализуется любыми программными средствами: от алгоритмических языков до *MS Office Excel*, не представляет собой никакой самостоятельной ценности и потому специально здесь не описывается.

Рис. 3, а показывает пример имитационного моделирования обработки заявок. Из этого рисунка видно, что три технологических линии не справляются с объемом заявок, поскольку их очередь монотонно возрастает за время моделирования. Действительно, расчетно-аналитический метод для данного примера требует наличия 3,8 технологических линий [12].

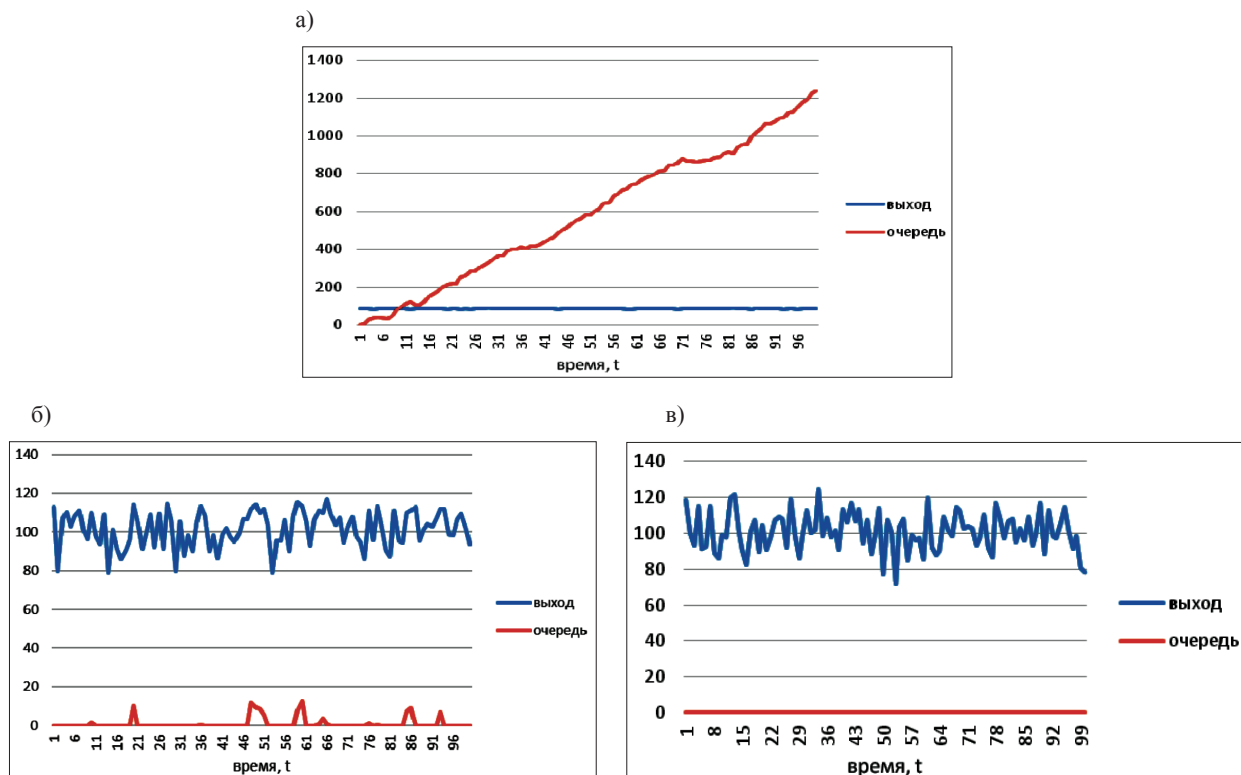


Рис. 3. Результаты моделирования:

а — при трех линиях; б — при четырех линиях; в — при пяти линиях

На рис. 3, б приведены результаты моделирования для случая четырех технологических линий. Из этого рисунка видно, что периодически возникающие всплески поступления заявок приводят к временному образованию очереди, которая достаточно быстро исчезает. На рис. 3, в приведены результаты моделирования для пяти технологических линий. Как видно из этого рисунка, в моделируемом случае очередей не образуется вовсе.

На рис. 4 приведен типичный спектр частот в гистограмме длины очереди, возникающей в наиболее интересном для практики случае — при четырех технологических линиях.

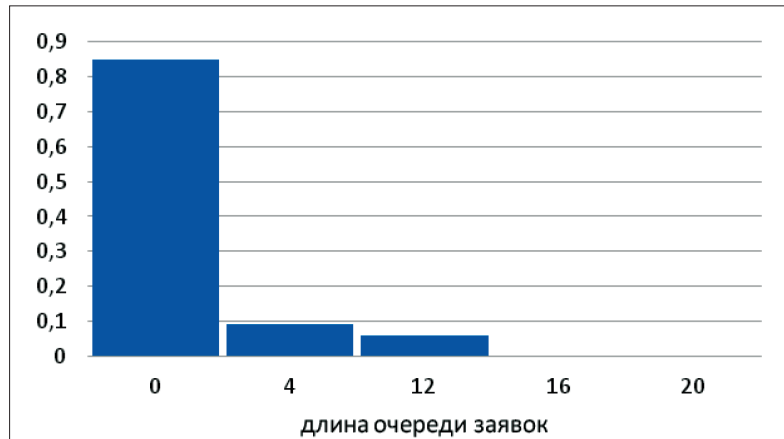


Рис. 4. Спектр частот длины очереди для четырех линий

Как видно из этого рисунка, в 91 % случаев очереди не возникает вообще, длина очереди в 4 – 11 заявок составляет 5 %, длина 12 – 15 заявок наблюдается в 3 % случаев, большая длина составляет 1 %.

Выводы (Summary)

1. В рассмотренном случае дискретно-событийного имитационного моделирования, было выявлено, что реакция системы на входные сигналы зависит не только от самих входных сигналов, но и от состояния, в котором находится система в конкретный момент времени. Одновременно, входные сигналы и текущее состояние системы определяют состояние системы в следующий момент времени. Таким образом, на одни и те же сигналы система может реагировать по-разному, т. е. демонстрировать разное поведение и разную последовательность смены состояния.

2. Предложенный учет такой разницы, положенный в основу метода определения требуемого количества технологических ресурсов портов и грузовых терминалов, позволяет с высокой степенью достоверности предвидеть пиковые состояния системы по частоте и величине и делать экономически эффективные планы оснащения конструируемых и реконструированных объектов технологическим оборудованием, рациональным по составу и количеству.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тарасов В. С. Моделирование технологических процессов с распределенными параметрами / В. С. Тарасов, И. А. Веренинов, В. Я. Ерунов. — Л.: Изд-во ЛПИ, 1982. — 288 с.
2. Глейм В. В. Имитационное моделирование морских грузовых терминалов на примере Новороссийского контейнерного терминала / В. В. Глейм // Материалы междунар. науч.-практ. конф. «Имитационное и комплексное моделирование морской техники и морских транспортных систем 2011». — СПб., 2011. — С. 55–58.
3. Панова Ю. Н. Способы повышения пропускной способности морских контейнерных портов / Ю. Н. Панова, Е. К. Коровяковский // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. — 2012. — № 2 (46). — С. 139–144.
4. Yip T. L. Modeling the effects of competition on seaport terminal awarding/ T. L. Yip, J. J. Liu, X. Fu, J. Feng // Transport Policy. — 2014. — Vol. 35. — Pp. 341–349. DOI: 10.1016/j.tranpol.2014.04.007.
5. Taner M. E. Layout analysis affecting strategic decisions in artificial container terminals / M. E. Taner, O. Kulak, M. U. Koyuncuoğlu // Computers & Industrial Engineering. — 2014. — Vol. 75. — Pp. 1–12. DOI: 10.1016/j.cie.2014.05.025.

6. Coronado Mondragon A. E. ICT adoption in multimodal transport sites: Investigating institutional-related influences in international seaports terminals / A. E. Coronado Mondragon, C. E. Coronado Mondragon, Etienne S. Coronado // Elsevier Transportation Research Part A: Policy and Practice. — 2017. — Vol. 97. — Pp. 69–88. DOI: 10.1016/j.tra.2017.01.014.

7. Беленький А. С. Исследование операций в транспортных системах: идеи и схемы методов оптимизации планирования / А. С. Беленький. — М.: Мир, 1992. — 582 с.

8. Пьяных С. М. Экономико-математические методы оптимального планирования работы речного транспорта: учебник для институтов водного транспорта / С. М. Пьяных. — М.: Транспорт, 1988. — 253 с.

9. Кузнецов А. Л. Морская контейнерная транспортно-технологическая система: монография / А. Л. Кузнецов, А. В. Кириченко, А. А. Давыденко. — СПб.: Изд-во МАНЭБ, 2017. — 320 с.

10. Мицель А. А. Исследование операций и методы оптимизации: в 2 ч. / А. А. Мицель. — Томск: Изд-во ТУСУР, 2016. — Ч. 1. — 167 с.

11. Кузнецов А. Л. Транспортный узел: к вопросу об организации деятельности / А. Л. Кузнецов, Я. Я. Эглит, А. В. Кириченко // Транспорт Российской Федерации. — 2013. — № 1 (44). — С. 30–33.

12. Изотов О. А. Оценка требуемых технологических ресурсов путем статистического моделирования / О. А. Изотов, А. В. Гульгяев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 3. — С. 497–506. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-3-497-50.

REFERENCES

1. Tarasov, V.S., I.A. Vereninov, and V.Ya. Erunov. *Modelirovanie tekhnologicheskikh protsessov s raspredelennymi parametrami*. L.: Izd-vo LPI, 1982.

2. Gleim, V.V. “Imitatsionnoe modelirovanie morskikh gruzovykh terminalov na primere Novorossiiskogo konteinerного terminala.” *Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Imitatsionnoe i kompleksnoe modelirovanie morskoi tekhniki i morskikh transportnykh sistem 2011»*. SPb., 2011. 55–58.

3. Panova, Yulia Nikolaevna, and Eugene Konstantinovich Korovyakovsky. “Ways for increasing the capacity of container seaports.” *Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya* 2 (46) (2012): 139–144.

4. Yip, Tsz Leung, John Jianhua Liu, Xiaowen Fu, and Jiejian Feng. “Modeling the effects of competition on seaport terminal awarding.” *Transport Policy* 35 (2014): 341–349. DOI: 10.1016/j.tranpol.2014.04.007.

5. Taner, M.E., O. Kulak, and M. U. Koyuncuoğlu. “Layout analysis affecting strategic decisions in artificial container terminals.” *Computers & Industrial Engineering* 75 (2014): 1–12. DOI: 10.1016/j.cie.2014.05.025.

6. Coronado Mondragon, Adrian E., Christian E. Coronado Mondragon, and Etienne S. Coronado. “ICT adoption in multimodal transport sites: Investigating institutional-related influences in international seaports terminals.” *Elsevier Transportation Research Part A: Policy and Practice* 97 (2017): 69–88. DOI: 10.1016/j.tra.2017.01.014.

7. Belen’kii, A.S. *Issledovanie operatsii v transportnykh sistemakh: idei i skhemy metodov optimizatsii planirovaniya*. M.: Mir, 1992.

8. P’yanykh, S.M. *Ekonomiko-matematicheskie metody optimal'nogo planirovaniya raboty rechnogo transporta: Uchebnik dlya institutov vodnogo transporta*. M.: Transport, 1988.

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

10. Mitsel’, A.A. *Issledovanie operatsii i metody optimizatsii. Chast’ I*. Tomsk: Izd. TUSUR, 2016.

11. Kuznetsov, A.L., Ya.Ya. Eglit, and A.V. Kirichenko. “On the issue of organising the operation of a transport hub.” *Transport of Russian Federation* 1(44) (2013): 30–33.

12. 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.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Изотов Олег Альбертович —

кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С.О. Макарова»
198035, Российская Федерация,
Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7
e-mail: izotovoa@gumrf.ru, iztv65@rambler.ru

Гультяев Александр Вадимович — аспирант

Научный руководитель:
Изотов Олег Альбертович
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: alex_gulyaev@inbox.ru, kaf_pgt@gumrf.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Izotov, Oleg A. —

PhD, associate professor
Admiral Makarov State University
of Maritime and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg,
198035, Russian Federation
e-mail: izotovoa@gumrf.ru, iztv65@rambler.ru

Gulyaev, Alexander V. — Postgraduate

Supervisor:
Izotov, Oleg A.
Admiral Makarov State University
of Maritime and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg,
198035, Russian Federation
e-mail: alex_gulyaev@inbox.ru, kaf_pgt@gumrf.ru

Статья поступила в редакцию 10 июля 2018 г.

Received: July 10, 2018.