

METHOD OF INCREASING THE EFFICIENCY OF TECHNOLOGY OF MANAGEMENT OF OVERLOAD PROCESSES OF REFRIGERATIVE CONTAINER CARGOES

L. A. Pavlova

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

The subject of the study is the effective functioning of the port, in particular, the optimal organization and management of transshipment processes. To improve the efficiency of quality indicators, we will consider the use of technology for managing the processing of refrigerated container cargo. To achieve this goal, it is necessary to solve particular problems, one of which is the study and analysis of existing methods for determining the quality indicators of the transshipment processes of cargo lots of a container terminal. The identification and justification of such indicators is carried out by using a probabilistic model built on a queuing system that takes into account random moments of time, such as the arrival of vessels, which entails simple servicing devices or the formation of queues. The substantiation of the field of research is carried out by reviewing the features of sea refrigerated container transportations and concretising the processes of handling cargo consignments. Taking into account the specifics of the operation of container terminals, the proposed system allows optimizing such factors as: simple equipment, excess storage spaces, queues and the possibility of accounting for random variables (the moment of arrival of cargo and the time interval for processing cargo). And leads to more accurate results of calculations. Analyzing the service performance of the terminal, it makes it possible to justify the adequacy of the chosen area of research. By the product of a comparative analysis of the classical and “non-Markovian” approaches, in calculating the probabilistic characteristics of the processing of refrigerated container cargo. The result of this analysis shows that when using the chosen method, the main indicator of the functioning of the system, such as the average waiting time for shipments, is more accurate, and is of less importance than in calculating the classical method.

Keywords: mathematical apparatus, probability theory, mathematical statistics, random processes, queuing theory.

For citation:

Pavlova, Lidiya A. “Method of increasing the efficiency of technology of management of overload processes of refrigerative container cargoes.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 10.1 (2018): 90–96. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-1-90-96.

УДК: 656.615

МЕТОД ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕГРУЗОЧНЫМИ ПРОЦЕССАМИ РЕФРИЖЕРАТОРНЫХ КОНТЕЙНЕРНЫХ ГРУЗОВ

Л. А. Павлова

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

Предметом исследования является эффективное функционирование работы порта, в частности оптимальная организация и управление перегрузочными процессами. Для повышения эффективности показателей качества рассмотрим использование технологии управления процессами обработки рефрижераторных контейнерных грузов. Для достижения поставленной цели требуется решение частных задач, одной из которых является исследование и анализ существующих методов определения показателей качества перегрузочных процессов грузовых партий контейнерного терминала. Выявление и обоснование таких показателей осуществляется путем использования вероятностной модели, построенной на основе системы базового обслуживания, которая учитывает случайные моменты времени, такие как прибытие

судов, что влечёт за собой простой специальных устройств по обслуживанию или образованию очередей. Обоснование области исследования осуществляется путем обзора особенностей морских рефрижераторных контейнерных перевозок и конкретизации процессов обработки грузовых партий. Учитывая данную специфику функционирования контейнерных терминалов, предложенная система оптимизирует такие обстоятельства, как неиспользование оборудования, избыток или недостаток мест для хранения на складах, образование очередей, позволяющие учитывать случайные величины (момент прибытия грузовых партий и интервал времени обработки груза), что приводит к более точным результатам расчетов. Анализ показателей обслуживания работы терминала позволяет обосновать адекватность выбранной области исследования путем выполнения сравнительного обзора классического и «немарковского» подходов при расчетах вероятностных характеристик процессов переработки рефрижераторных контейнерных грузов. Результат данного анализа показывает, что при использовании выбранного метода основной показатель функционирования системы, такой как среднее время ожидания партий груза, имеет меньшее значение, чем при расчетах, выполненных классическим методом.

Ключевые слова: контейнерные перевозки, оптимизация перегрузочных процессов, управление работы порта, показатели качества.

Для цитирования:

Павлова Л. А. Метод повышения эффективности технологии управления перегрузочными процессами рефрижераторных контейнерных грузов / Л. А. Павлова // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 1. — С. 90–96. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-1-90-96.

Введение (Introduction)

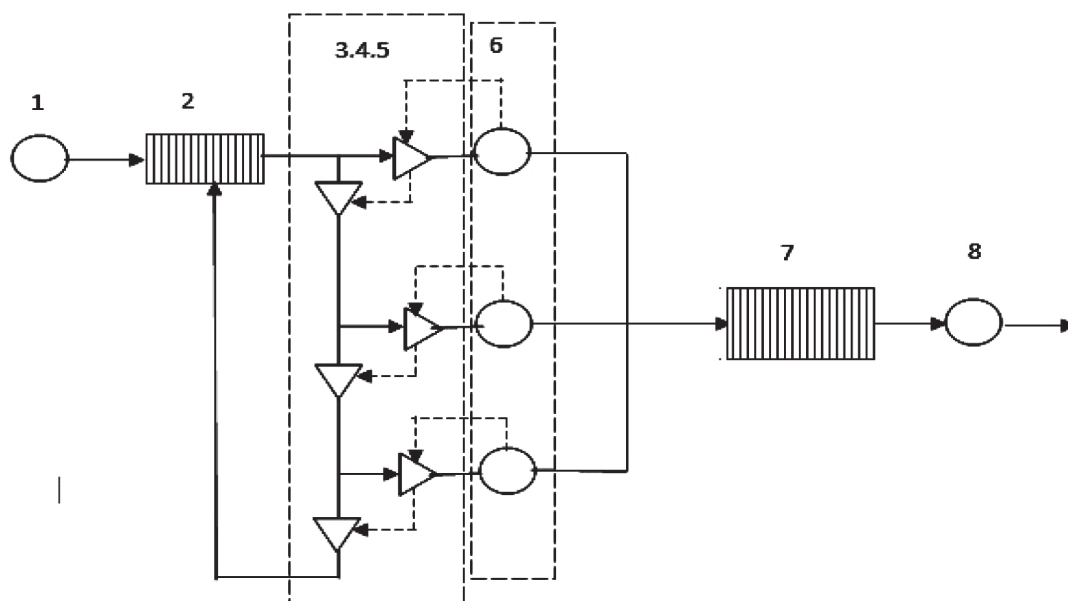
Согласно данным ассоциации морских торговых портов на период январь – октябрь 2017 г., грузооборот увеличился на 9,3 % по сравнению с аналогичным периодом 2016 г. [1]. Портовая деятельность является стратегическим аспектом развития экономики государства и одним из ключевых звеньев функционирования транспортной системы [2]. Наблюдая устойчивый рост развития контейнерных перевозок, возникает вопрос об эффективном функционировании, в частности об оптимальной организации и управлении перегрузочными процессами.

Для выработки современных методов повышения эффективности и технологий управления перегрузочными процессами необходимо провести анализ на основе существующих ранее разработанных методов и технологий в данной предметной области, что впоследствии, учитывая современную специфику процессов управления грузопотоками, позволит выработать методы, отвечающие вызовам времени. Исследуя специфику обработки контейнерных рефрижераторных грузов, приходим к выводу о необходимости учитывать то обстоятельство, что график прибытия судов может нарушаться из-за непредвиденных обстоятельств [3].

Целью практического исследования является повышение эффективности перегрузочных процессов рефрижераторных контейнерных грузов при условии оптимизации показателей качества функционирования. В работах [4] – [6] рассматривается детерминированный метод, который состоит из строго заданных зависимостей, который не отражает случайные моменты доставки партий грузов к терминалу. Подходящим методом для достижения поставленной задачи является вероятностная модель, которая позволяет достигнуть повышения эффективности функционирования перегрузочных процессов в портах, а именно оптимизировать показатель среднего времени обработки грузовых партий.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Обоснование выбранной области исследования осуществляется путем обзора особенностей морских рефрижераторных контейнерных перевозок и конкретизации процессов обработки грузовых партий. В процессе теоретических исследований использовались математические аппараты теории вероятностей, математической статистики и случайных процессов, входящие в основу теории массового обслуживания. Процесс функционирования обработки грузов в контейнерном рефрижераторном терминале можно представить с помощью системы массового обслуживания (СМО). Представим графически процесс функционирования процессов работы терминала [7], [8] в виде схемы:



Процесс функционирования работы терминала: 1 — поступление судов в терминал; 2 — вход судов в место якорной стоянки в порту; 3 — определение обслуживающей секции для судна; 4 — ожидание освобождения одной из обслуживающей секции; 5 — выход судна из места якорной стоянки; 6 — время обслуживания судов в секции; 7 — освобождение обслуживающей секции; 8 — выход судна из терминала

Условно-функциональные (обслуживающие) секции в порту рассматриваются в качестве обслуживающих устройств, в которых производится обработка грузов. Прибывающие суда, подлежащие обслуживанию, принимаются в качестве заявок СМО. Если все терминалы заняты, то вновь прибывшее судно становится на место якорной стоянки в порту и ждёт своей очереди до освобождения одного из терминалов. Каждое судно имеет график прибытия, но из-за непредвиденных обстоятельств этот график, как правило, нарушается. Исходя из ранее изложенного считается, что прибытие судов является случайным событием, что влечёт за собой простой обслуживающих устройств или образование очередей. Возможны ситуации, когда в отдельные периоды времени часть судов может быть передана под обслуживание на другой терминал из-за превышения допустимого времени ожидания.

При применении СМО марковской модели предполагается *экспоненциальный (показательный) закон обслуживания*. Расчет вероятностных характеристик СМО (в случае применения экспоненциального закона) может привести к ошибкам и недостаточной точности.

В большинстве научных изысканиях в области процессов функционирования работы порта для описания пропускной способности контейнерных терминалов используются *детерминированные методы* [9]. При использовании детерминированного метода интервал времени между моментом поступления судов в терминал обслуживания и моментом выхода судна из него не носит случайного характера. Однако момент доставки партий контейнерных грузов к терминалу представляет случайный поток событий. В реальных условиях функционирование работы порта с точки зрения процессов обработки грузов не адекватно указанным допущениям [10] – [12]. Учитывая специфику функционирования контейнерных терминалов, необходимо исследовать случайные процессы обработки судов, описывающие эти процессы на основе вероятностных моделей для решения задач исследования и оптимизации [13] – [14].

Рассмотрим другой подход к расчету характеристик вероятностной модели СМО. Математическая модель процесса хранения строится с учетом нерегулярного прихода партий грузов и случайного времени пребывания их на складе в рефрижераторных терминалах, что приводит в одних случаях к неиспользованию оборудования и избытку мест на складах хранения, а в других —

к образованию очередей. Для того чтобы решить задачи исследования и разработки вероятностной модели, необходимо исследовать случайные процессы обработки судов и произвести их вероятностный анализ. Данные процессы хранения грузов в случайные моменты времени переходят из одного состояния в другое. Переход процесса происходит в моменты, когда новое судно подходит на терминал либо освобождается один из причалов. При этом меняется количество судов, находящееся в очереди на хранение грузов, принимая во внимание гипотезу о том, что поток приходящих в порт партий груза (судов) можно считать простейшим (стационарным пуассоновским), обладающим тремя свойствами: ординарностью, отсутствием последствия и стационарностью, подчиняющейся пуассоновскому закону распределения.

Система характеризуется следующими особенностями:

- поступление судов в систему на обслуживание происходит по одному механизму, т. е. вероятность прибытия двух или более судов в один момент времени очень мала и ею можно пренебречь (поток требований ординарный);
- вероятность прибытия последующих судов в любой момент времени не зависит от вероятности их поступления в предыдущие моменты, т. е. поток требований без последствий;
- поток требований стационарный, т. е. он не зависит от расположения рассматриваемого интервала времени на оси времени [15].

Введем обозначения рефрижераторного контейнерного терминала, имеющего F условно-функциональных секций с одинаковым коэффициентом заполнения ϕ , на который поступает нерегулярный поток судов (партий грузов) m с результирующей интенсивностью λ .

Процесс, протекающий при обслуживании контейнерных рефрижераторных грузов в терминалах, представляет собой процесс дискретного типа с конечным или счетным в общем случае множеством состояний. При этом изменяется количество партий груза, находящихся в очереди на обслуживание. В случайный момент времени исследуемые процессы грузовых партий переходят из одного состояния в другое. Переход процесса происходит в моменты, когда прибывает новая партия груза либо освобождается одна из обслуживающих секций. Аналогичный алгоритм и результат получаются также и для процесса обработки контейнерных грузов.

Рассмотрим один из указанных ранее процессов, а именно расчет времени ожидания контейнерных грузовых партий в очереди на хранение. Используя математические вычисления, представим вероятность нахождения n грузовых партий в терминале через соотношение членов биномиального разложения Ньютона, степенью возведения в этом случае будет число грузовых партий:

$$P_n = C_m^n p^n q^{m-n} = \frac{m!}{n!(m-n)!} p^n q^{m-n}. \quad (1)$$

При выполнении последующих расчетов были введены некоторые допущения: среднюю интенсивность пребывания партии в терминале μ будем принимать равной единице, а приведенную интенсивность прихода грузовых партий всего терминала ψ заменим коэффициентом заполнения ϕ каждой условно-функциональной секции в отдельности. Интенсивность потока грузовых партий определяется соотношением

$$\lambda = \lambda' m, \quad (2)$$

где λ' — интенсивность прихода в терминал каждой грузовой партии.

Определим вероятностные характеристики процессов переработки грузовых партий контейнерного терминала. Среднее число грузовых партий в очереди на хранение определяется выражением:

$$d = \begin{cases} \sum_{n=F+1}^m (n-F) P_n & \text{при } n > F; \\ 0 & \text{при } n \leq F. \end{cases} \quad (3)$$

Среднее число грузовых партий в терминале можно найти по формуле

$$d_{\Sigma} = \sum_{n=1}^m nP_n. \quad (4)$$

Используя полученные результаты, определим среднее время ожидания партии груза в очереди с помощью выражения

$$\bar{\tau}_{\text{ож}} = \frac{d}{\lambda} = \frac{d}{\lambda' m}. \quad (5)$$

Среднее время нахождения партии в терминале определяется выражением

$$\bar{\tau}_{\Sigma} = \frac{d_{\Sigma}}{\lambda} = \frac{d_{\Sigma}}{\lambda' m}. \quad (6)$$

Полученные вероятностные модели позволяют выполнить анализ процессов переработки контейнерных грузов в рефрижераторных терминалах.

Обсуждение результатов (Discussion of Results)

Приведем обоснование области исследования путем обзора особенностей морских рефрижераторных контейнерных перевозок и конкретизации процессов обработки грузовых партий. Проанализируем показатель среднего времени ожидания обработки грузовых партий для возможности обоснования адекватности выбранного метода исследования. Рассмотрим классический метод расчета вероятностных характеристик процессов переработки рефрижераторных контейнерных грузов, представленный в работах Ю. Я. Зубарева и И. А. Русинова [3], [5]. Выполним сравнительный анализ классического и немарковского подхода при расчетах вероятностных характеристик процессов переработки рефрижераторных контейнерных грузов. Сравним значения среднего времени ожидания партий груза $\tau_{\text{ож}}$ в очереди в зависимости от таких параметров, как коэффициент заполнения ϕ и количество условно-функциональных секций F для различных значений m , представленных в следующей таблице:

<i>Среднее время ожидания партий груза при $m = 50$</i>		
	Классический подход, $\tau_{\text{ож}}$	Немарковский подход, $\tau_{\text{ож}}$
$\phi = 0,7$ $F = 1$	1,0	0,37
$\phi = 0,9$ $F = 10$	0,73	0,14
<i>Среднее время ожидания партий груза, при $m = 100$</i>		
$\phi = 0,7$ $F = 10$	0,075	0,034
$\phi = 0,9$ $F = 20$	0,27	0,08

Немарковский подход численно лучше ранее используемого классического метода и является логическим продолжением исследований в данной предметной области. Анализируя полученные результаты, следует отметить, что при немарковском подходе среднее время ожидания партий груза точнее и имеет меньшее значение, чем при выполнении расчетов классического метода в несколько раз. Это позволит в дальнейшем, вводя дополнительные системные и частные ограничения, а также проведя эмпирические исследования и апробацию предложенных методов и технологий, сделать вывод об их значительном временном превосходстве.

На практике техническое оборудование порта и инфраструктура как в направлении импорта, так и экспорта может быть не всегда готова к переработке рефрижераторных контейнеров. Теоретическая пропускная способность терминала часто не совпадает с фактической. Поэтому необходима разработка математических моделей, позволяющих минимизировать и оптимизировать затраты на оборудование и ресурсы.

Таким образом, в статье рассмотрены существующие методы определения показателей качества функционирования процессов переработки грузов контейнерного терминала. Анализ выполненных исследований показал, что в целом для описания пропускной способности контейнерного терминала используется детерминированный метод, основанный на классическом (марковском) подходе к построению системы массового обслуживания. Однако использование данного метода не учитывает случайный поток событий, в частности таких, как моменты доставки грузовых партий к терминалу.

Заключение (Conclusion)

В данной работе получены научные и практические результаты по повышению эффективности проектирования перегрузочных процессов рефрижераторных контейнерных грузов в терминалах за счет выбранного критерия и обоснованных показателей системы, а именно:

- разработана математическая модель расчета технологии управления процессов обработки рефрижераторных контейнерных грузов;
- выполнен сравнительный анализ классического и немарковского методов;
- рассчитано среднее время ожидания партий груза, которое является более точным и имеет меньшее значение при немарковском подходе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грузооборот морских портов России за январь – декабрь 2017 г. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.morport.com/rus/news/document1987.shtml> (дата обращения — 13.01.2018).
2. Стратегия развития морской портовой инфраструктуры России до 2030 года. — М., 2015. — 284 с.
3. Зубарев Ю. Я. Оптимизация процессов переработки каботажных грузов / Ю. Я. Зубарев, А. М. Тюкавин. — СПб.: Политехника, 2009. — 168 с.
4. Тюкавин А. М. Решение задачи оптимальной загрузки контейнерного терминала на основе анализа интенсивности потока судов / А. М. Тюкавин, И. А. Русинов // Автоматизация, информатизация, инновация транспортных систем: сб. науч.-техн. ст. — СПб.: Парк-Ком, 2007. — Вып. 4. — С. 45–49.
5. Русинов И. А. Формализация и оптимизация процессов переработки рефрижераторных грузов на специализированных терминалах / И. А. Русинов. — СПб.: Политехника, 2008. — 472 с.
6. Зубарев Ю. Я. Вероятностная формализация процессов обработки каботажных судов на контейнерных терминалах / Ю. Я. Зубарев, А. С. Гайнуллин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2011. — № 1. — С. 70а–73.
7. Axinte T. Advanced analysis of the transverse bulkhead of the a general cargo ship / T. Axinte, C. Nutu, C. Stanca, O. Cupsa, A. Carp // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — IOP Publishing Ltd, 2016. — Vol. 145. — Pp. 082004. DOI:10.1088/1757-899X/145/8/082004.
8. Кудрявцев Е. М. GPSS World. Основы имитационного моделирования различных систем / Е. М. Кудрявцев. — М.: ДМК Пресс, 2004. — 320 с.
9. Ларин О. Н. Оптимизация технологических процессов на контейнерных терминалах / О. Н. Ларин, А. М. Саликов // Современное общество, образование и наука: сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч.-практ. конф.: в 16 ч. — Тамбов: ООО «Консалтинговая компания Юком», 2015. — С. 82–83.
10. Соколов С. С. Оптимизация грузопотоков при мультимодальном сообщении / С. С. Соколов, В. Н. Ежгуров // Научные труды SWorld. — 2013. — Т. 8. — № 1. — С. 68–73.
11. Du R. Simulation of assembling cargo-hold spaceship pallets / R. Du, P. Wang, Q. Wu, Ch. Jing // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — IOP Publishing Ltd, 2017. — Vol. 69. — Pp. 012129. DOI: 10.1088/1755-1315/69/1/012129.
12. Русинов И. А. Обработка и хранение рефрижераторных грузов на специализированных терминалах / И. А. Русинов. — СПб.: Изд-во СПбИИ РАН «Нестор-История», 2005. — 168 с.
13. Budiyo M. A. Study on the CFD simulation of refrigerated container / M. A. Budiyo, T. Shinoda // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — IOP Publishing Ltd, 2017. — Vol. 257. — Pp. 012042. DOI: 10.1088/1757-899X/257/1/012042.
14. Максимов В. М. Вероятностные структуры и вероятностные множества / В. М. Максимов // Успехи математических наук. — 2007. — Т. 62. — № 6. — С. 181–182. DOI: 10.4213/rm7597.

REFERENCES

1. Gruzooborot morskikh portov Rossii za yanvar' – dekabr' 2017 g. Web. 13 Jan. 2018 <<http://www.morport.com/rus/news/document1987.shtml>>.
2. *Strategiya razvitiya morskoi portovoi infrastruktury Rossii do 2030 goda*. M., 2015.
3. Zubarev, Yu.Ya., and A.M. Tyukavin. *Optimizatsiya protsessov pererabotki kabotazhnykh грузов*. SPb.: Politekhnik, 2009.
4. Tyukavin, A.M., and I.A. Rusinov. "Reshenie zadachi optimal'noi zagruzki konteynernogo terminala na osnove analiza intensivnosti potoka sudov." *Avtomatizatsiya, informatizatsiya, innovatsiya transportnykh sistem. Sbornik nauchno-tekhnicheskikh statei*. Is.4. SPb.: Park-Kom, 2007: 45–49.
5. Rusinov, I.A. *Formalizatsiya i optimizatsiya protsessov pererabotki refrizheratornykh грузов na spetsializirovannykh terminalakh*. SPb.: Politekhnik, 2008.
6. Zubarev, Yu.Ya., and A.S. Gainullin. "Probabilistic formalization of coasters handling processes on line terminals." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 1 (2011): 70a–73.
7. Axinte, T., C. Nutu, C. Stanca, O. Cupsa, and A. Carp. "Advanced analysis of the transverse bulkhead of the a general cargo ship." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 145. IOP Publishing, 2016. DOI:10.1088/1757-899X/145/8/082004.
8. Kudryavtsev, E.M. *GPSS World. Osnovy imitatsionnogo modelirovaniya razlichnykh sistem*. M.: DMK Press, 2004.
9. Larin, O.N., and A.M. Salikov. "Optimizatsiya tekhnologicheskikh protsessov na konteynernykh terminalakh." *Sovremennoe obshchestvo, obrazovanie i nauka: sbornik nauchnykh trudov po materialam Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii: v 16 chastyakh*. Tambov: OOO "Konsaltingovaya kompaniya Yukom", 2015: 82–83.
10. Sokolov, S.S., and V.N. Ezhgurov. "Optimizatsiya gruzopotokov pri mul'timodal'nom soobshchenii." *Nauchnye trudy SWorld* 8.1 (2013): 68–73.
11. Du, Ruizhao, Pengfei Wang, Qianru Wu, and Chenchen Jing. "Simulation of assembling cargo-hold spaceship pallets." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Vol. 69. IOP Publishing, 2017. DOI: 10.1088/1755-1315/69/1/012129.
12. Rusinov, I.A. *Obrabotka i khranenie refrizheratornykh грузов na spetsializirovannykh terminalakh*. SPb.: Izdatel'stvo SPbII RAN «Nestor-Istoriya», 2005.
13. Budiyanto, Muhammad Arif, and Takeshi Shinoda. "Study on the CFD simulation of refrigerated container." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 257. IOP Publishing, 2017. DOI: 10.1088/1757-899X/257/1/012042.
14. Maksimov, V.M. "Probability structures and probability sets." *Russian Mathematical Surveys* 62.6 (2007): 1215–1217. DOI: 10.1070/RM2007v062n06ABEH004490.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Павлова Лидия Алексеевна — инженер
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: lidia_pavlova13@mail.ru,
kaf_koib@gumrf.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Pavlova, Lidiya A. — Engineer
Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
Russian Federation
e-mail: lidia_pavlova13@mail.ru,
kaf_koib@gumrf.ru

Статья поступила в редакцию 15 января 2018 г.
Received: January 15, 2018.