

Л. А. Павлова, С. С. Соколов, В. Д. Гаскаров

МОДЕЛЬ И АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ВЕРОЯТНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССОВ ХРАНЕНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ РЕФРИЖЕРАТОРНЫХ КОНТЕЙНЕРНЫХ ГРУЗОВ

Для описания пропускной способности контейнерных терминалов ранее использовались детерминированные методы, приводящие к большим допущениям при расчетах. Эти методы не отражают всю специфику переработки и хранения рефрижераторных грузов: интервал времени между моментами поступления требования в канал обслуживания и выхода требования из этого канала не носит случайного характера, однако момент доставки партий контейнерных грузов к терминалу представляет собой случайный поток событий. В рассматриваемой системе массового обслуживания разомкнутого многоканального типа, на которую поступают нерегулярные однородные или неоднородные потоки заявок с неограниченным временем ожидания, основной задачей является расчет времени ожидания партий контейнеров в очереди на хранение. Для нахождения этого параметра необходимо исследовать процесс, протекающий при обработке и хранении контейнерных рефрижераторных грузов в терминалах, – процесс дискретного типа с конечным (или счетным в общем случае) множеством состояний. Под множеством состояний понимается изменение количества партий груза, находящихся в очереди на переработку. Исследуемые процессы грузовых партий переходят из одного состояния в другое в моменты, когда прибывает новая партия груза или освобождается одна из условно функциональных секций. Для разработки математической модели использовались частная теорема о повторении опытов, разложение бинома Ньютона в степени, закон распределения Пуассона. Для описания вероятности отдельных состояний использовалась теорема Байеса. Система подчиняется следующим особенностям потока требований: поток ординарный, стационарный и без последствий. Система рассматривается на примере функционирования контейнерного терминала, имеющего условно функциональные секции с определенным коэффициентом заполнения, на который поступает нерегулярный неоднородный поток судов с результирующей интенсивностью. Система позволяет оптимизировать такие факторы, как простой оборудования, избыток мест на складах хранения, образование очередей и возможность учёта случайных величин (момент прибытия груза и интервал времени переработки груза).

Ключевые слова: система массового обслуживания, пуассоновский поток, контейнерный терминал, хранение и обработка контейнерных грузов, вероятностные модели.

Введение

Исторически сложилось так, что человечество неразрывно связано с мореплаванием, и водный транспорт является одним из самых древних видов транспорта. Развитие морского транспорта России определяется не только географическим положением страны, но и его экономическими преимуществами. Морская транспортировка грузов – самый дешевый способ перевозки (после транспортировки по трубам), что обуславливает востребованность и популярность данного вида транспорта. Так как себестоимость перевозок водным транспортом остается самой низкой, он является конкурентоспособным, несмотря на низкую скорость доставки.

В настоящее время морские порты являются крупными транспортными узлами, связывающими морские пути с железнодорожными, речными и автомобильными. Портовая деятельность – один из наиболее важных объектов, обеспечивающих развитие государственной экономики. На долю портов приходится более 50 % всего мирового грузооборота. Об этом свидетельствует положительная динамика роста грузооборота морских портов России. Согласно статистическим данным, за январь – май 2015 г. грузооборот России увеличился на 4,4 % по сравнению с аналогичным периодом 2014 г., а за 2014 г. – на 5,7 % по сравнению с 2013 г. [1, 2].

Широкое распространение получают контейнерные терминалы, перерабатывающие крупнотоннажные рефрижераторные контейнеры, в которых перевозят продукты питания. Рефрижераторные контейнеры – достижение современных технологий – предназначены для перевозок грузов, требующих поддержания специального температурного и влажностного режима.

Такие контейнеры используются в основном для морских перевозок и хранения скоропортящихся грузов. Температурный диапазон рефконтейнеров составляет от -25 до $+25$ °С. По своим размерам рефконтейнеры подразделяются на 20- и 40-футовые. Рефрижераторные контейнеры могут быть использованы при перевозках практически на всех видах транспорта, а также для хранения скоропортящихся грузов – как временного, при перевалке на грузовых терминалах, так и длительного. Применение рефконтейнеров позволяет доставлять груз «от двери до двери», не нарушая температурный режим хранения в пути следования и в процессе погрузки-выгрузки при смене видов транспорта.

Контейнерные перевозки, которые отличаются очень высокой степенью безопасности, широко используются для уменьшения затратной части на этапе транспортировки грузов до территории порта и сокращения времени предварительной доставки. Современные контейнеры технически оснащены и изготовлены с соблюдением всех существующих норм и стандартов, что гарантирует их прочность и герметичность. Во всем мире растет популярность использования контейнеров в качестве универсальной тары для перевозки грузов [3, 4].

Развитие терминалов обусловило и появление новой организационной структуры управления, одновременно совершенствовались методы и аппарат оценки показателей работы перегрузочного терминала других участков мультимодальных перевозок [5, 6].

Теоретическая пропускная способность терминала не всегда совпадает с фактической, т. к. техническое оборудование порта, с точки зрения осуществления операций импорта и экспорта, не всегда может быть готово к хранению или обработке контейнерных грузов. В связи с этим необходима разработка математических моделей, которые позволяют оптимизировать и уменьшить затраты на оборудование и ресурсы [7].

Для моделирования работы перегрузочного терминала используется аппарат теории массового обслуживания. В основе моделирования процессов переработки грузов лежат разомкнутые системы массового обслуживания (СМО) [8]. Однако для определения характеристик процессов переработки контейнерных грузов применение существующих моделей массового обслуживания не всегда целесообразно, т. к. указанные модели некорректно описывают процессы функционирования работы порта [9, 10].

В рамках нашего исследования каналы СМО будут рассматриваться как условно функциональные секции, в которых осуществляется обработка грузов, а в качестве заявок СМО – прибывающие суда, подлежащие обработке. Если все причалы заняты, то вновь прибывшее судно остановится на рейде и ждёт своей очереди до освобождения одного из причалов. Каждое судно имеет расписание прибытия, которое, из-за непредвиденных обстоятельств, часто нарушается. Вследствие этого считается, что прибытие судов является случайным событием, которое влечёт за собой простой обслуживающих устройств или образование очередей. В классической теории массового обслуживания по критерию времени простоя до начала обработки различают системы «чистого» и «смешанного» типа.

В «чистой» системе время ожидания и число мест в очереди судов не ограничено, т. е. каждое судно в течение какого-либо времени будет обязательно обработано и партия груза будет помещена на хранение. При использовании СМО смешанного типа (ограниченное ожидание) возможен отказ терминала в обработке судна. В действительности число грузовых партий в очереди всегда имеет ограничения. Используя аналитические данные по вероятностям состояния процессов обработки, целесообразнее их считать бесконечным числом. Возможны ситуации, когда в отдельные периоды времени судно может быть обработано в другом терминале порта из-за превышения допустимого времени ожидания.

При использовании СМО марковской модели предполагается экспоненциальный (показательный) закон обслуживания. При расчетах вероятностных характеристик СМО применение экспоненциального закона может привести к ошибкам и недостаточной точности.

Рассмотрение детерминированных методов для описания пропускных способностей контейнерных терминалов показало, что они не отражают всю специфику переработки и хранения рефрижераторных грузов, в частности не учитывается интервал времени между поступлением требования в канал обслуживания и моментом выхода требования из этого канала, однако доставка партий контейнерных грузов к терминалу представляет собой случайный поток событий [7, 9, 11, 12]. В реальных условиях функционирование инфраструктуры терминала с точ-

ки зрения процессов переработки грузов неадекватно вышеуказанным допущениям [8, 13, 14]. Специфика контейнерных терминалов требует учитывать случайные процессы обработки судов и описывать эти процессы на основе вероятностных моделей [15].

Еще один подход предусматривает разработку математической модели. Математическая модель процесса хранения учитывает нерегулярность прихода партий грузов и случайное время их нахождения на складе в рефрижераторных контейнерных терминалах, что в одних случаях приводит к простоям оборудования и избытку мест на складах хранения, в других – к образованию очередей.

Разработка вероятностной модели

Для того чтобы разработать вероятностную модель, что и является *целью нашей работы*, необходимо исследовать случайные процессы хранения судов и провести их вероятностный анализ. Для перехода процесса из одного состояния в другое используются данные процессов хранения груза в те или иные моменты времени. Переход процесса происходит в моменты изменения состояния обработки груза, т. е. когда новое судно подходит к терминалу или когда освобождается один из причалов порта. При этом меняется количество судов, находящихся в очереди на хранение грузов.

Для отражения основных событий системы изобразим графически основные процессы функционирования многоканальной разомкнутой СМО (рис. 1).

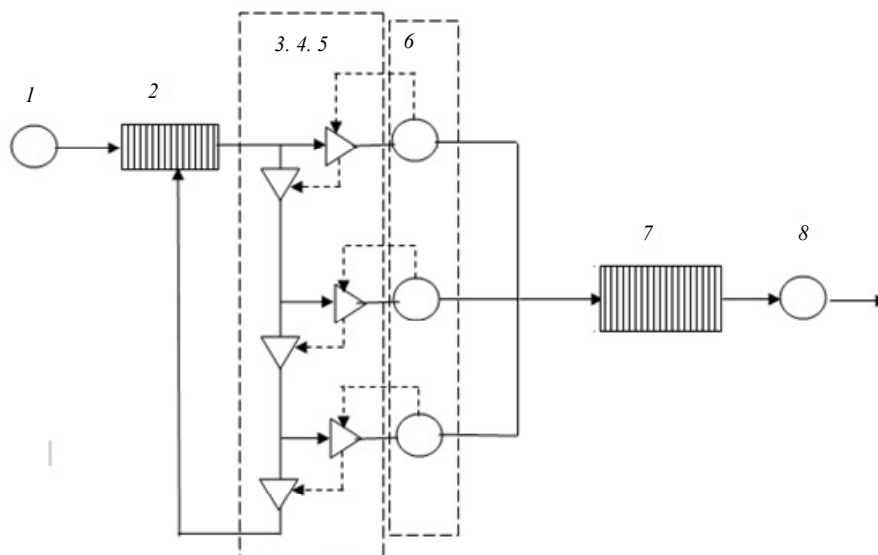


Рис. 1. Q-схема процесса функционирования многоканальной разомкнутой СМО:

- 1 – поступление судов в терминал; 2 – вход судов в рейд (накопитель);
- 3 – определение условно функциональной секции для обслуживания судна;
- 4 – ожидание освобождения одной из условно функциональных секций;
- 5 – выход судна из накопителя; 6 – время обслуживания судов в условно функциональной секции;
- 7 – освобождение условно функциональной секции; 8 – выход судна из терминала

Введем обозначения рефрижераторного контейнерного терминала, имеющего F условно функциональных секций с одинаковым коэффициентом заполнения ϕ , на который поступает нерегулярный поток судов m (количество судов) с результирующей интенсивностью λ . Результирующая интенсивность прихода судов в терминал определяется интенсивностью и числом судов, находящихся в очереди.

Если все суда одинаковы с точки зрения их обслуживания, то считается, что на СМО поступает однородный поток заявок или требований (судов), т. е. все заявки на разгрузку одинаковы [10]. Однако могут быть и определенные неоднородности потока судов - суда могут обладать различными характеристиками: различное количество контейнеров на судне, различная вместимость контейнеров и др.

Принимая, что поток партий груза (судов), приходящих в порт, подчиняется закону распределения Пуассона, можно считать его простейшим (стационарным пуассоновским), обладающим тремя свойствами: ординарностью, отсутствием последовательности и стационарностью.

Система характеризуется следующими особенностями:

– требования (судов) в систему на обслуживание поступают по одному, т. е. вероятность поступления двух или более требований (судов) в один момент времени очень мала, и ею можно пренебречь – *поток требований ординарный*;

– вероятность поступления последующих требований (судов) в любой момент времени не зависит от вероятности их поступления в предыдущие моменты – *поток требований без последствий*;

– поток требований не зависит от расположения рассматриваемого интервала времени на оси времени – *поток требований стационарный* [16].

Для того чтобы рассчитать время ожидания судна на обработку и хранение, а также определить среднее число партий контейнеров в очереди, введем следующие допущения: задана многоканальная разомкнутая СМО с неограниченным временем ожидания и с неоднородным простейшим (стационарным пуассоновским) потоком требований.

Неоднородный поток судов обладает различными характеристиками. Это разные типы судов (m_1 – суда 1-го типа, m_2 – суда 2-го типа, m_3 – суда 3-го типа, m_s – суда s -го типа) и разная интенсивность прихода грузовой партии (λ_1 – для судов 1-го типа, λ_2 – для судов 2-го типа, λ_3 – для судов 3-го типа, λ_s – для судов s -го типа).

Важными параметрами функционирования СМО являются среднее время ожидания в очереди на хранение $\bar{t}_{ож}$ и среднее число партий контейнеров в очереди на хранение \bar{n} . Исходными параметрами, характеризующими СМО, являются:

– число условно функциональных секций F ;

– интенсивность поступления одного требования на обслуживания λ'_i ;

– интенсивность обслуживания судна μ .

Общее количество судов в очереди на хранение определяется выражением

$$m = \sum_{i=1}^s m_i.$$

Интенсивность потока судов можно найти по формуле

$$\lambda = \sum_{i=1}^s \lambda_i \cdot m_i.$$

Процесс, протекающий при обработке и хранении контейнерных рефрижераторных грузов в терминалах, представляет собой процесс дискретного типа с конечным (или счетным в общем случае) множеством состояний. При этом меняется количество партий груза, находящихся в очереди на переработку. В случайный момент времени исследуемые процессы грузовых партий переходят из одного состояния в другое. Переход процесса происходит в моменты, когда либо прибывает новая партия груза, либо освобождается одна из условно функциональных секций.

Рассмотрим один из перечисленных выше процессов – *расчет времени ожидания партий контейнеров в очереди на хранение*.

Каждое судно может оказаться в условно функциональном секторе (событие A) с одной и той же вероятностью p . Вероятность пропорциональна интенсивности прихода каждой партии груза и математическому ожиданию суммарного времени пребывания партий в терминале. Движение отдельных грузовых партий можно считать проведением f независимых испытаний.

Если вероятность p - это нахождение грузовой партии в терминале, то $q = 1 - p$ - это вероятность того, что данная партия находится в другом состоянии (в других фазах), т. е. непоявление события A .

Требуется найти вероятность P_n того, что в терминале будет обрабатываться n грузовых партий, т. е. событие A в этих f опытах появиться ровно n раз.

Используя байесов подход, рассмотрим событие B_n , состоящее в том, что событие A появится в f опытах n раз. Это событие может осуществляться различными способами. Разложим событие B_n на сумму произведений событий, состоящих в появлении или непоявлении события A в отдельном опыте. Будем обозначать как A_i событие, соответствующее нахождению i -й партии груза в терминале, а \bar{A}_i - событие, соответствующее нахождению i -й партии груза вне терминала.

Действительно, каждый член суммы B_n должен состоять из n событий A_i и $(f - n)$ событий \bar{A}_j с различными индексами. Тогда B_n будет описываться по формуле

$$B_n = A_1 A_2 \dots A_n \bar{A}_{n+1} \dots \bar{A}_f + \dots + A_1 \bar{A}_2 A_3 \dots \bar{A}_{f-1} A_n + \dots + \bar{A}_1 \bar{A}_2 \dots \bar{A}_{f-n} A_{f-n+1} \dots A_f. \quad (1)$$

В выражении (1) описано число возможных способов, позволяющих из f опытов выбрать n , в которых произошло событие, число такого рода C_f^n [17-19].

Используя частную теорему о повторении опытов [15], можно найти вероятность $P_{n_1 n_2 \dots n_s}$:

$$P_{n_1 n_2 \dots n_s} = \prod_{i=1}^s C_{f_i}^{n_i} p^{n_i} q^{f_i - n_i},$$

где $C_{f_i}^{n_i}$ - число способов, позволяющих из f_i опытов выбрать n_i , в которых произошло событие (нахождение партии контейнеров на хранении).

Вероятность нахождения n_1, n_2, \dots, n_s партий контейнеров на хранении соответствует членам разложения бинома Ньютона в степени, равной числу партий контейнеров, поэтому указанное распределение вероятностей называется биномиальным. Под биномиальным распределением подразумевается распределение вероятностей возможных появлений событий A (нахождение партии контейнеров на хранении) при повторных независимых испытаниях. В каждом из некоторых событий A может определяться с одной и той же вероятностью [15, 20].

Для этого представим все возможные состояния СМО в виде размеченного графа состояний (рис. 2).

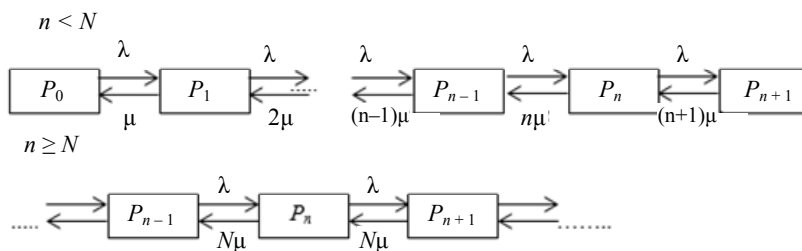


Рис. 2. Размеченный граф состояний многоканальной разомкнутой СМО

Каждый прямоугольник графа определяет одно из всех возможных состояний. P_n - это возможность наличия в системе n требований (судов). Стрелки на графе указывают, в какое состояние система может перейти и с какой интенсивностью. При этом в многоканальной СМО необходимо различать два случая:

– число судов n , поступивших в систему, меньше каналов обслуживания N , т. е. все они находятся на обслуживании ($0 \leq n < N$);

– число судов n , поступивших в систему, больше или равно числу каналов обслуживания N ($N \leq n$), т. е. N судов обслуживаются, а остальные r находятся в очереди ($r = 1, 2, \dots, n - N$) [16].

Граф с вероятностью P_0 определяет состояние системы, при котором все каналы обслуживания простаивают из-за отсутствия судов. С интенсивностью μ система может перейти как в состояние P_1 , когда в ней появится одно требование, так и из состояния P_1 в состояние P_0 , если единственное требование, находившееся в системе, было обслужено ранее, чем появилось новое, и т. д.

Определив вероятности отдельных состояний терминала, можно на основе байесова подхода узнать среднее значение времени ожидания партий контейнеров в очереди на хранение, соответствующее определенным значениям числа судов m_s и числа условно функциональных секций F исследуемого специализированного терминала.

Основной задачей является определение среднего времени ожидания партий груза в очереди, т. е. прямая задача – определить зависимость функции от коэффициента заполнения φ и количества условно функциональных секций F . Это необходимо для рефрижераторного терминала: $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3 \dots \varphi_i \dots \varphi_s$ соответственно и для каждого типа судна; $r_1, r_2, \dots r_i \dots r_s$ – размер партии контейнеров (количество контейнеров) для судов. В рамках нашего исследования коэффициент заполнения φ прямо пропорционален интенсивности прихода каждой партии груза λ'_i .

Среднее приведенное время ожидания помещения на хранение партии контейнеров [21, 22]:

$$\bar{\tau}_{\text{ож}} = \bar{r} / \sum_{i=1}^s \lambda'_i m_i r_i,$$

$$\bar{\tau}_{\text{ож.ср}} = \bar{r} / \sum_{i=1}^s \lambda'_i m_i r_{\text{ср}},$$

где $r_{\text{ср}}$ – усредненное значение размера партии контейнеров, рассчитываемое по формуле

$$r_{\text{ср}} = m_1 \cdot r_1 + m_2 \cdot r_2 + \dots + m_s r_s / \sum m_i.$$

Полученная вероятностная модель позволяет провести анализ процессов хранения контейнерных грузов в рефрижераторных терминалах и определить среднее время ожидания партий груза в очереди на хранение в рефрижераторном контейнерном терминале.

Результаты исследования

Математическая модель и схемы процессов функционирования и состояний многоканальной разомкнутой СМО, описанные выше, позволили рассчитать вероятностные характеристики, используя приложение Java, т. к. с его помощью можно создать элементарный байт-код.

Выбор данного инструментария для разработки программного продукта обеспечивает простоту, удобство программирования и возможность будущей модернизации [23–26]. Предложенное программное обеспечение представляет собой совокупность библиотек функций и динамическое содержание, предназначенное для расчета вероятностных характеристик процессов хранения и переработки рефрижераторных контейнеров. Программа предусматривает возможность ввода параметра, не имеющего количественного ограничения (такого, как «тип судна»). Для каждого определенного типа судна учитываются: размер партий груза, размер (вместимость) контейнера, коэффициент заполняемости и другие характеристики.

В ходе разработки были решены следующие задачи:

- осуществление ввода исходных данных: F – количество условно функциональных секций; m_s – суда s -го типа, где s – число «неоднородных» судов; φ_s – коэффициент заполнения (рис. 3);
- обеспечение соответствия введенных данных условиям и их проверки на правильность;
- расчет среднего числа партий контейнеров в очереди на хранение;

- расчет интенсивности прихода партий контейнеров;
- расчет среднего времени ожидания помещения на хранение партии контейнеров.

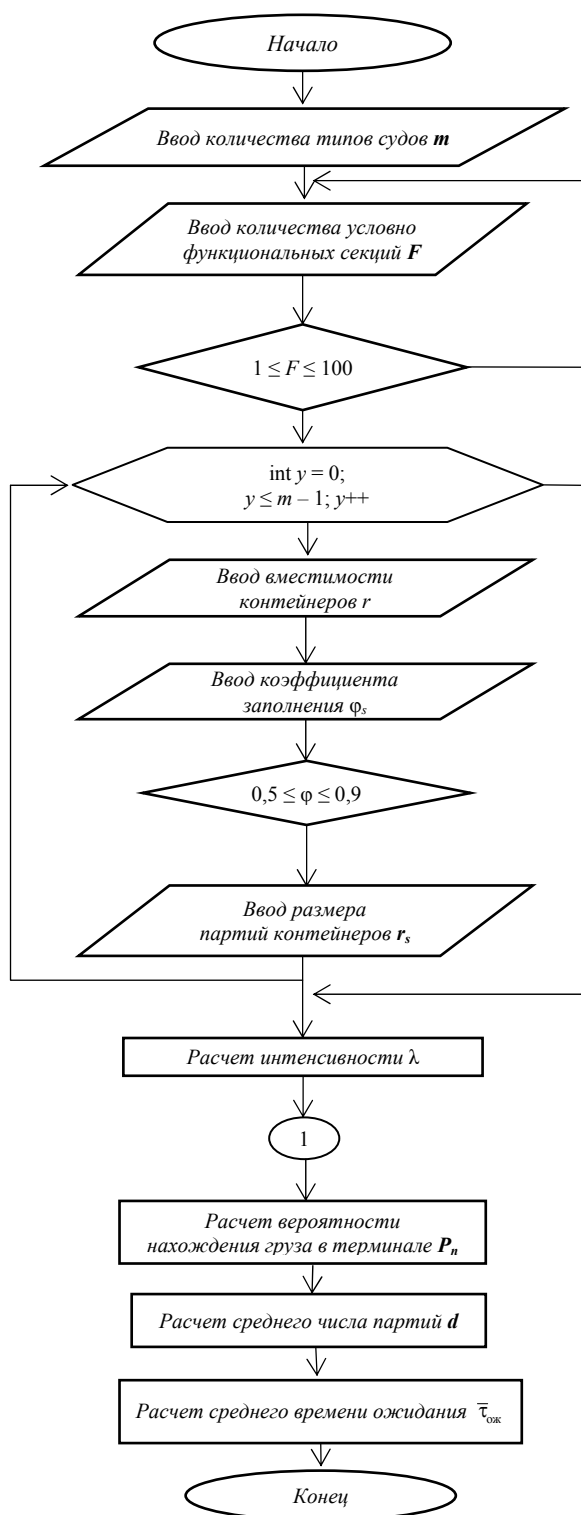


Рис. 3. Блок-схема алгоритма расчета вероятностных характеристик процессов хранения и переработки рефрижераторных контейнерных грузов

Согласно результатам расчетов, среднее время ожидания существенно возрастает за счет увеличения коэффициента заполнения и уменьшается за счет увеличения числа условно функциональных секций рефрижераторного терминала. При использовании r_s и r_{cp} показатели отличаются незначительно, следовательно, при дальнейших расчетах можно использовать усредненное значение r_{cp} .

Заключение

Таким образом, полученная вероятностная модель позволяет произвести анализ процессов хранения контейнерных грузов в рефрижераторных терминалах, учитывая специфику функционирования процессов переработки грузов, и рассчитать следующие параметры: среднее число партий контейнеров в очереди на хранение; среднее приведенное время ожидания, интенсивность прихода в терминал каждой партии контейнеров и коэффициент заполнения условно функциональных секций. Результаты получаются точнее, чем при использовании «классического» детерминированного метода, не полностью отражающего специфику переработки рефрижераторных контейнерных грузов вследствие того, что не учитываются такие важные аспекты, как нерегулярный поток событий, случайное время нахождения судов в терминале (в условно функциональных секциях) и случайная величина времени обработки грузов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ассоциация морских торговых портов. URL: <http://www.morport.com/rus/> (дата обращения: 03.04.2016).
2. Стратегия развития морской портовой инфраструктуры России до 2030 года. URL: http://www.rosmorport.ru/media/File/State-Private_Partnership/strategy_2030.pdf (дата обращения: 03.04.2016).
3. Достоинства контейнерных перевозок и их основные минусы. URL: <http://tranzito.com/> (дата обращения: 03.04.2016).
4. Преимущества контейнерных перевозок. URL: http://www.wiraj-perevozki.ru/text_7.html (дата обращения: 03.04.2016).
5. Русинов И. А. Обработка и хранение рефрижераторных грузов на специализированных терминалах. СПб.: Изд-во СПбИИ РАН «Нестор-История», 2005. 168 с.
6. Эглит Я. Я., Эглите К. Я., Прокофьев В. А. Управление транспортными системами. СПб.: Феникс, 2004. 424 с.
7. Русинов И. А. Формализация и оптимизация процессов переработки рефрижераторных грузов на специализированных терминалах. СПб.: Политехника, 2008. 472 с.
8. Зубарев Ю. Я., Тюкавин А. М. Оптимизация процессов переработки каботажных грузов. СПб.: Политехника, 2009. 168 с.
9. Аттеков А. В., Галкин С. В., Зарубин В. С. Методы оптимизации. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003. 440 с.
10. Русинов И. А., Зубарев Ю. Я. Переработка контейнерных грузов. СПб.: Политехника, 2009. 317 с.
11. Семенов К. М. Планирование обработки грузов в морских портах и терминалах на основе дискретно-событийного имитационного моделирования: дис. ... канд. техн. наук: Калининград, 2014. 171 с.
12. Семенов В. И. Разработка и внедрение мероприятий по совершенствованию управления процессами транспортировки грузов в международных морских перевозках // Современные тенденции развития науки и технологий. 2015. № 3–4. С. 34–37.
13. Русинов И. А., Тюкавин А. М. Решение задачи оптимальной загрузки контейнерного терминала на основе анализа интенсивности потока судов // Автоматизация, информатизация, инновация транспортных систем: сб. науч.-техн. ст. 2007. № 4. С. 45–49.
14. Ловяников Д. С., Зубарев Ю. Я. Вероятностная формализация процессов обработки контейнерных грузов с учетом ограничения на число судов в очереди // Вестн. ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова. 2014. № 1 (23). С. 109–113.
15. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. М.: Академия, 2005. 576 с.
16. Кудрявцев Е. М. GPSS World. Основы имитационного моделирования различных систем. М.: ДМК Пресс, 2004. 320 с.
17. Зубарев Ю. Я., Гайнуллин А. С. Вероятностная формализация процессов обработки каботажных судов на контейнерных терминалах // Вестн. ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова. 2011. № 1 (9). С. 109–113.
18. Ловяников Д. С. Математическое и алгоритмическое обеспечение оптимального управления процессами совместной обработки экспортно-импортных и каботажных судов на контейнерных терминалах: дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2014. 180 с.

19. *Хвастунов А. С.* Моделирование и оптимизация процессов переработки контейнерных грузов: дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2013. 149 с.
20. *Ветцель Е. С., Овчаров Л. А.* Теория вероятностей и ее инженерные приложения. М.: Академия, 2005. 528 с.
21. *Сулимова Е. А., Павлова Л. А.* Вероятностные модели процессов хранения контейнерных грузов в рефрижераторных терминалах // Информационные технологии и системы. Управление, экономика, транспорт, право. 2013. № 1 (10). С. 49–51.
22. *Ловяников Д. С., Павлова Л. А.* Моделирование процессов хранения и переработки контейнерных грузов // Инновационные процессы и технологии в современном мире: материалы Междунар. науч.-практ. конф. Уфа, 2013. Ч. 1. С. 202–205.
23. *Вихров Н. М., Нырков А. П., Соколов С. С., Шнуренко А. А.* Стохастические модели управления технологическими процессами судоремонта // Морской вестн. 2013. № 2 (46). С. 17–20.
24. *Нырков А. П., Соколов С. С., Вайгандт Н. Ю.* // Обеспечение безопасности автоматизированных систем управления движением судов при помощи технологии референчных станций // Морская радио-электроника. 2013. № 2 (44). С. 48–50.
25. *Соколов С. С., Ежгуров В. Н.* Оптимизация грузопотоков при мультимодальном сообщении // Научные труды SWorld. 2013. Т. 8, № 1. С. 68–73.
26. *Ларин О. Н., Саликов А. М.* Оптимизация технологических процессов на контейнерных терминалах // Современное общество, образование и наука: сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч.-практ. конф. (Тамбов, 31 марта 2015 г.). Тамбов: ООО «Консалтинговая компания Юком», 2015. Ч. 6. С. 82–83.

Статья поступила в редакцию 12.04.2016

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Павлова Лидия Алексеевна – Россия, 198035, Санкт-Петербург; Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова; аспирант кафедры комплексного обеспечения информационной безопасности; lidiya_pavlova13@mail.ru.

Соколов Сергей Сергеевич – Россия, 198035, Санкт-Петербург; Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова; канд. техн. наук, доцент; доцент кафедры комплексного обеспечения информационной безопасности; sokolovss@gumrf.ru.

Гаскаров Вагиз Диляурович – Россия, 198035, Санкт-Петербург; Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова; г-р техн. наук, профессор; профессор кафедры комплексного обеспечения информационной безопасности; kaf_koib@gumrf.ru.



L. A. Pavlova, S. S. Sokolov, V. D. Gaskarov

MODEL AND ALGORITHM FOR CALCULATING THE PROBABILITY CHARACTERISTICS OF THE STORAGE AND PROCESSING OF REFRIGERATING CONTAINERIZED CARGOES

Abstract. To describe the capacity of container terminals, the deterministic methods, leading to large allowances in the calculations, were previously used. These methods do not reflect the specifics of processing and storage of refrigerated cargo: the time interval between the time of the request to the service and its response is not of a random nature, however, the time of delivery of parts of container cargo to the terminal is a random flow of events. In the considered system of mass service of the open multichannel type, which receives irregular homogeneous or inhomogeneous flow of orders with unbounded standby time, the main task is to calculate the waiting time for the containers for safekeeping. To find this option, the process occurring while handling the containerized

refrigerating cargoes in terminals, – a discrete type process with a finite (or countable in general) set of the states should be examined. As a set of states, a change in the number of shipments that are in the queue for processing is taken. The considered processes of shipments transfer from one state to another at the moment, when a new shipment arrives or one of the conditionally functional sections is released. For the development of the mathematical model a private theorem on the repeated tests, the Newton binomial expansion to the series and the law of the Poisson distribution were used. To describe the probabilities of individual states the Bayes' theorem is used. The system is subject to the following features of the flow requirements: ordinary, stationary and without after-effects. The system is considered by the example of operating the container terminal, having conditionally functional sections with a certain duty cycle, which takes irregular and uniform flow of the vessels with the resultant intensity. The system allows optimizing such factors as equipment downtime, excess of places in warehouses, queuing and possibility of accounting random variables (time of arrival of the shipment and cargo processing time interval).

Key words: queuing system, Poisson flow, container terminal, storage and handling of containerized cargoes, probability models.

REFERENCES

1. *Assotsiatsiia morskikh torgovykh portov*. Available at: <http://www.morport.com/rus/> (accessed: 03.04.2016).
2. *Strategiia razvitiia morskoi portovoi infrastruktury Rossii do 2030 goda*. Available at: http://www.rosmorport.ru/media/File/State-Private_Partnership/strategy_2030.pdf (accessed: 03.04.2016).
3. *Dostoinstva konteinernykh perevozok i ikh osnovnye minusy*. Available at: <http://tranzito.com/> (accessed: 03.04.2016).
4. *Preimushchestva konteinernykh perevozok*. Available at: http://www.wiraj-perevozki.ru/text_7.html (data obrashcheniia: 03.04.2016).
5. Rusinov I. A. *Obrabotka i khranenie refrizheratornykh gruzov na spetsializirovannykh terminalakh* [Handling of the refrigerating cargoes in specialized terminals]. Saint-Petersburg, Izd-vo SPbII RAN «Nestor-Istoriia», 2005. 168 p.
6. Eglit Ia. Ia., Eglite K. Ia., Prokofev V. A. *Upravlenie transportnymi sistemami* [Transport system control]. Saint-Petersburg, Feniks Publ., 2004. 424 p.
7. Rusinov I. A. *Formalizatsiia i optimizatsiia protsessov pererabotki refrizheratornykh gruzov na spetsializirovannykh terminalakh* [Formalization and optimization of the processes of handling refrigerating cargoes in special terminals]. Saint-Petersburg, Politekhnik Publ., 2008. 472 p.
8. Zubarev Iu. Ia., Tiukavin A. M. *Optimizatsiia protsessov pererabotki kabotazhnykh gruzov* [Optimization of the processes of handling coastal cargoes]. Saint-Petersburg, Politekhnik Publ., 2009. 168 p.
9. Attekov A. V., Galkin S. V., Zarubin V. S. *Metody optimizatsii* [Optimization methods]. Moscow, MGTU im. N. E. Baumana, 2003. 440 p.
10. Rusinov I. A., Zubarev Iu. Ia. *Pererabotka konteinernykh gruzov* [Reprocessing of the container cargoes]. Saint-Petersburg, Politekhnik Publ., 2009. 317 p.
11. Semenov K. M. *Planirovanie obrabotki gruzov v morskikh portakh i terminalakh na osnove diskretnosobytiinogo imitatsionnogo modelirovaniia. Dis. ... kand. tekhn. nauk* [Planning of cargo processing in sea ports and terminals based on discrete simulation modeling. Dis. cand. tech. sci.]. Kaliningrad, 2014. 171 p.
12. Semenov V. I. *Razrabotka i vnedrenie meropriiati po sovershenstvovaniiu upravleniia protsessami transportirovki gruzov v mezhdunarodnykh morskikh perevozkakh* [Development and introduction of the events for improvement of cargo transport control during international sea transportations]. *Sovremennye tendentsii razvitiia nauki i tekhnologii*, 2015, no. 3–4, pp. 34–37.
13. Rusinov I. A., Tiukavin A. M. *Reshenie zadachi optimal'noi zagruzki konteiner'nogo terminala na osnove analiza intensivnosti potoka sudov* [Solution of the task of optimal loading of the containerized terminal based on the analysis of intensity of the vessels' flow]. *Avtomatizatsiia, informatizatsiia, innovatsiia transportnykh sistem: sbornik nauchno-tekhnicheskikh statei*, 2007, no. 4, pp. 45–49.
14. Lovianikov D. S., Zubarev Iu. Ia. *Veroiatnostnaia formalizatsiia protsessov obrabotki konteinernykh gruzov s uchetom ogranicheniia na chislo sudov v ocheredi* [Probabilistic formalization of the processes of handling the container cargoes taking into account the limits for a number of the vessels in a queue]. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova*, 2014, no. 1 (23), pp. 109–113.
15. Venttsel' E. S. *Teoriia veroiatnostei* [Probabilistic theory]. Moscow, Akademiia Publ., 2005. 576 p.
16. Kudriavtsev E. M. *GPSS World. Osnovy imitatsionnogo modelirovaniia razlichnykh sistem* [Bases of simulation modeling of different systems]. Moscow, DMK Press, 2004. 320 p.
17. Zubarev Iu. Ia., Gainullin A. S. *Veroiatnostnaia formalizatsiia protsessov obrabotki kabotazhnykh sudov na konteinernykh terminalakh* [Probabilistic formalization of the processes of handling coastal cargoes in the con-

tainer terminals]. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova*, 2011, no. 1 (9), pp. 109–113.

18. Lovianikov D. S. *Matematicheskoe i algoritmicheskoe obespechenie optimal'nogo upravleniia protsessami sovmestnoi obrabotki eksportno-importnykh i kabotazhnykh sudov na konteynernykh terminalakh*. Dis. ... kand. tekhn. nauk [Mathematical and algorithmic maintenance of optimal control of the processes of the modern handling of export-import and coastal cargoes in the containerized terminals. Dis. cand. tech. sci.]. Saint-Petersburg, 2014. 180 p.

19. Khvastunov A. S. *Modelirovanie i optimizatsiia protsessov pererabotki konteynernykh грузов*. Dis. ... kand. tekhn. nauk [Modeling and optimization of the processes of handling the container cargoes. Dis. cand. tech. sci.]. Saint-Petersburg, 2013. 149 p.

20. Vetsel' E. S., Ovcharov L. A. *Teoriia veroiatnostei i ee inzhenernye prilozheniia* [Theory of probabilities and its engineering applications]. Moscow, Akademiia Publ., 2005. 528 p.

21. Sulimova E. A., Pavlova L. A. Veroiatnostnye modeli protsessov khraneniia konteynernykh грузов v refrizheratornykh terminalakh [Probabilistic models of storage of the container cargoes in the refrigerating terminals]. *Informatsionnye tekhnologii i sistemy. Upravlenie, ekonomika, transport, pravo*, 2013, no. 1 (10), pp. 49–51.

22. Lovianikov D. S., Pavlova L. A. Modelirovanie protsessov khraneniia i pererabotki konteynernykh грузов [Modeling of the processes of storage and handling the container cargoes]. *Innovatsionnye protsessy i tekhnologii v sovremennom mire. Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii*. Ufa, 2013. Part 1, pp. 202–205.

23. Vikhrov N. M., Nyrkov A. P., Sokolov S. S., Shnurenko A. A. Stokhasticheskie modeli upravleniia tekhnologicheskimi protsessami sudoremonta [Stochastic models of control of the technological processes of ship-repairing]. *Morskoi vestnik*, 2013, no. 2 (46), pp. 17–20.

24. Nyrkov A. P., Sokolov S. S., Vaigandt N. Iu. Obespechenie bezopasnosti avtomatizirovannykh sistem upravleniia dvizheniem sudov pri pomoshchi tekhnologii referentsnykh stantsii [Maintenance of security of the automated systems of navigation control using technologies of referential stations]. *Morskaiia radioelektronika*, 2013, no. 2 (44), pp. 48–50.

25. Sokolov S. S., Ezhgurov V. N. Optimizatsiia gruzopotokov pri mul'timodal'nom soobshchenii [Optimization of cargo flows in multimodal communication]. *Nauchnye trudy SWorld*, 2013, vol. 8, no. 1, pp. 68–73.

26. Larin O. N., Salikov A. M. Optimizatsiia tekhnologicheskikh protsessov na konteynernykh terminalakh [Optimization of the technological processes in the containerized terminals]. *Sovremennoe obshchestvo, obrazovanie i nauka. Sbornik nauchnykh trudov po materialam Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Tambov, 31 marta 2015 g.)*. Tambov, OOO «Konsaltingovaia kompaniia Lukom», 2015. Part 6, pp. 82–83.

The article submitted to the editors 12.04.2016

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Pavlova Lidiya Alekseevna – Russia, 198035, Saint-Petersburg; Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping; Postgraduate Student of the Department of Comprehensive Information Security; lidiya_pavlova13@mail.ru.

Sokolov Sergey Sergeevich – Russia, 198035, Saint-Petersburg; Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping; Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Comprehensive Information Security; sokolovss@gumrf.ru.

Gaskarov Vagiz Dilyaurovich – Russia, 198035, Saint-Petersburg; Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping; Doctor of Technical Sciences, Professor; Professor of the Department of Comprehensive Information Security; kaf_koib@gumrf.ru.

