

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И АВТОМАТИЗАЦИЯ НА ТРАНСПОРТЕ

DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-5-1094-1103

SET THEORY MODEL FOR THE ASSESSMENT OF THE CONTAINER TERMINAL'S OPERATIONAL RESOURCES

A. L. Kuznetsov, A. D. Semenov, V. N. Shcherbakova-Slyusarenko

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

The paper describes a set-theoretical model of a universal container terminal functional structure handling a complex structured cargo flow. It is represented that the chosen form of model's and its activity description allows to reveal the complex mechanism of terminal's functional elements cooperation and consider the specification of different cargo flow handling process. The suggested model is not just a good description of the container terminal structure and its elements cooperation, but it is also a tool for the research of the specification of its characteristics' dynamic changes. And, therefore, build theories on the system's action. It is represented that get all these features of the model it is not necessary to apply a computer modelling. All the results are calculated from the suggested matrix forms. As a consequence, a set-theoretical model of such a type can be used as standard in the process of creation of hierarchical consequence of the models with more precise characteristics which helps in the objective proof of a model's adequacy. The results of container terminal activity modelling based on the suggested set-theoretical model is also represented in the paper. The utilization of the model allows to calculate the probability distribution of the necessary equipment number. And this distribution can be computed without considering of stochastic features of the parameters that were used in the calculations. It can be achieved because the model considers dynamical characteristic of a system, i. e. the change of its parameters through time.

Keywords: port model, set-theoretical model, cargo flow irregularity, handling equipment

For citation:

Kuznetsov, Aleksandr L., Anton D. Semenov, and Victoria N. Shcherbakova-Slyusarenko. "Set theory model for the assessment of the container terminal's operational resources." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 10.5 (2018): 1094–1103. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-5-1094-1103.

УДК 656.615

ТЕОРЕТИКО-МНОЖЕСТВЕННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ РАСЧЕТА ОПЕРАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ КОНТЕЙНЕРНОГО ТЕРМИНАЛА

А. А. Кузнецов, А. Д. Семенов, В. Н. Щербакова-Слюсаренко

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

В статье описывается теоретико-множественная модель функциональной структуры контейнерного терминала общего вида и структуры сложного грузопотока, обрабатываемого этим контейнерным терминалом. Показано, что выбранная форма описания модели и ее функционирования, несмотря на самый общий характер дескриптивных свойств, позволяет отразить скрытые механизмы взаимодействия отдельных функциональных элементов и учесть специфику обработки грузопотоков различной природы. Предложенная модель не только исчерпывающе описывает содержательно структуру и отношения всех операционных компонент контейнерного терминала, но и позволяет исследовать особенности динамического изменения характеристик во времени, т. е. выносить суждения о характере поведения моделируемого объекта. Показано, что для получения всех этих возможностей не требуется

какая-либо трансляция теоретико-множественного описания в исполнительную компьютерную модель, т. е. отсутствует этап программирования как таковой, и все результаты выводятся непосредственно из матричных представлений. Как следствие, теоретико-множественные модели подобного рода могут служить в качестве эталонов в процедуре создания иерархической последовательности моделей со все более уточняющимися представлениями, с помощью которых обеспечивается объективное доказательство их адекватности. В работе также представлены результаты моделирования деятельности контейнерного терминала с помощью предложенного метода. Использование теоретико-множественной модели для анализа необходимого количества оборудования позволяет получить вероятностное распределение потребности в этом оборудовании. При этом распределение может быть получено без учета случайного характера используемых при расчетах параметров. Это объясняется тем, что модель позволяет учесть динамический характер работы изучаемой системы, т. е. изменение входных параметров во времени.

Ключевые слова: модель порта, теоретико-множественная модель, неравномерность грузопотока, перегрузочное оборудование.

Для цитирования:

Кузнецов А. Л. Теоретико-множественная модель для расчета операционных ресурсов контейнерного терминала / А. Л. Кузнецов, А. Д. Семенов, В. Н. Щербакова-Слюсаренко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 5. — С. 1094–1103. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-5-1094-1103.

Введение (Introduction)

Теоретико-множественные методы являются традиционным инструментом для описания фундаментальных свойств математических моделей различных объектов [1], [2]. Ведя свою историю от теории множеств, появившейся и плодотворно развивавшейся задолго до эры компьютеров [3], [4], эти методы успешно использовались для описания и представления фундаментальных свойств моделей самого общего вида [5]. Повсеместное использование теоретико-множественных моделей объясняется тем, что они обладают глубиной выразительных средств, компактностью и универсальностью, что, в первую очередь, и требуется для формализации интуитивных представлений.

Появление компьютера как технического средства и дискретной математики как теории его использования ознаменовало собой смену парадигмы в прикладных научных дисциплинах [6], [7]. Алгоритмические языки, созданные для управления техническими средствами вычислительной техники при решении с помощью последних научных и прикладных задач, постепенно сместили теоретико-множественные методы с ведущих позиций в задачах описания и представления свойств моделей. Теоретико-множественные нотации в большей мере начали использоваться там, где алгоритмическое решение оказывалось невозможным, а модели носили формальный умозрительный характер, чаще всего не допускающий их вычислительной реализации. Это положение коренным образом изменилось с развитием технологии создания программного продукта [8], [9]. Алгоритмическое (или «императивное») программирование постепенно стало одним из равных среди средств вычислительной техники наряду с программированием логическим, функциональным, объектно-ориентированным и др. [10], [11]. Выяснилось, что теоретико-множественные методы намного больше соответствуют новым информационным технологиям, и теперь уже классическое императивное программирование стало вытесняться в «интернет вещей», придавая им более «интеллектуальный» характер за счет встроенных микропроцессоров, отвечающих за алгоритмическое поведение. В то же время накопленный опыт реализации программных проектов позволил установить, что теоретико-множественные модели обладают способностью не только отражать основные структурные особенности, взаимосвязи и отношения отдельных компонент сложных объектов, но и моделировать их поведение.

Настоящая статья описывает именно такой пример использования формального теоретического описания объекта — контейнерного терминала — методами теории множеств, которое позволяет выносить суждения о динамических потребностях в технологических ресурсах.

Методы и материалы (Methods and Materials)

В описываемом исследовании используются методы теории множеств, аппарат теории матриц и реляционные базы данных. Базовые элементы обобщенного грузопотока и предлагаемой теоретико-множественной модели контейнерного терминала описываются векторными структурами, точнее, вектор-строками и вектор-столбцами. Взаимодействия между операционными элементами модели при обработке грузопотока задаются матрицами, которые определяют отношения между компонентами грузопотока и элементами модели, а также задают временные характеристики частных грузопотоков, из которых складывается обобщенный грузопоток терминала. Для получения валидных и практически значимых моделей, позволяющих изучать динамику спроса на операционные ресурсы для реальных объектов, вполне адекватными оказываются средства MS Excel.

Результаты (Results)

Моделирование такого сложного объекта, как контейнерный терминал требует создания двух систем: статической и динамической. Первая предполагает, что все переменные не изменяют своего значения во времени. Разработка этой модели необходима как база для создания более близкой реальности динамической модели, учитывающей данный фактор.

Статический расчет требований к ресурсам. Грузопоток Q , протекающий через терминал за произвольный период T , будем понимать как совокупность частных грузопотоков, входящих на терминал через его периметр и покидающих терминал через него, или как вектор-столбец $Q = \|q_k\|_{K \times 1}$.

Каждый частный грузопоток проходит через свою последовательность элементов терминала, перемещение между которыми называется *транспортной операцией*, или просто *операцией*. Операции представляют собой ребра графа функциональной структуры терминала, вершинами которого являются грузовые фронты, склады и другие базовые элементы (рис. 1).

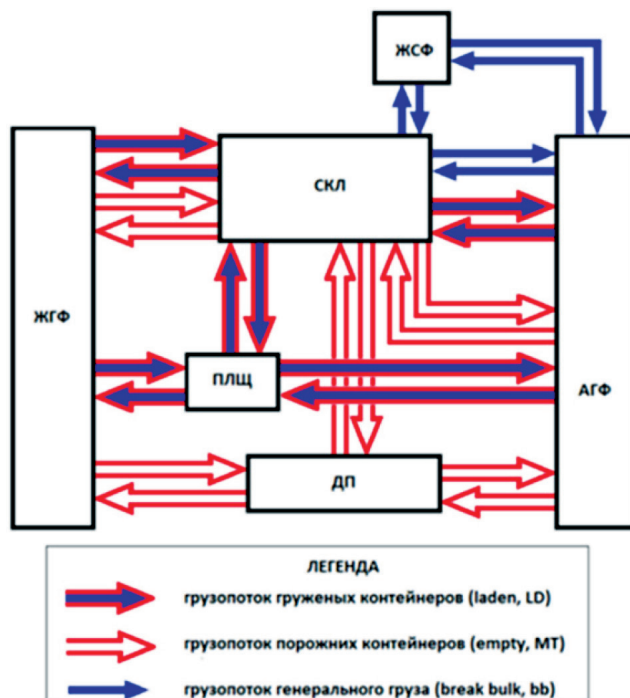


Рис. 1. Функциональная структура терминала

Операции представлены вектором-строкой $W = \|w_i\|_{1 \times J}$. Последовательность операций, которая характеризует прохождение через терминал каждого частного грузопотока q_k , называется *технологическим маршрутом*. Состав операций технологических маршрутов, необходимых

для обработки частных грузопотоков, задается бинарной матрицей технологических маршрутов $A = \|\alpha_{k,i}\|_{K \times I}$, где $\alpha_{k,i} = 1$, если операция i входит в технологический маршрут грузопотока q_k , и $\alpha_{k,i} = 0$ в противоположном случае. Объем грузопотока q_k , умноженный на $\alpha_{k,i}$, образует элемент матрицы операционных заданий, определяющей нагрузку на каждую операцию от частных грузопотоков, или $R = \|r_{k,i}\|_{K \times I}$, где $r_{k,i} = q_k \alpha_{k,i}$.

Для выполнения операций используется то или иное оборудование из множества $E = \|e_j\|_{1 \times J}$, участие которого в конкретной операции задается бинарной матрицей технологии $B = \|\beta_{i,j}\|_{I \times J}$, где $\beta_{i,j} = 1$, если в операции i задействовано оборудование типа e_j , и $\beta_{i,j} = 0$ в противоположном случае.

В каждой операции могут быть задействованы несколько видов оборудования, составляющих некоторое технологическое звено. По этой причине матрица технологического оборудования задается для каждого звена l отдельно, т. е. каждой операции соответствует несколько матриц технологии операций B^l , сопоставимых с каждым операционным звеном.

Каждый тип оборудования в отдельных звеньях различных технологических операций характеризуется своей производительностью, задаваемой аналогичной по структуре матрицей производительности $P = \|p_{i,j}\|_{I \times J}$, где $p_{i,j}$ — производительность оборудования e_j при его использовании в операции i .

Если оборудование e_j в течение всего периода T используется непрерывно, то его выработка за весь этот период, при участии в звене l технологической операции i , составит величину $p_{ij}T$. Поскольку задание на выполнение операции i конкретным грузопотоком k известно и составляет R_{ki} , число требуемых машин типа e_j в составе звена l технологической операции i составит

$$n_j = \frac{R_{ki}}{p_{ij}T}.$$

Суммирование потребности оборудования типа e_j по всем операциям i и всем грузопотокам k позволяет оценить среднюю совокупную потребность в нем на интервале T , т. е.

$$N_j = \sum_i \sum_k \frac{A_{ki}}{p_{ij}T}.$$

Если оборудование e_j в течение периода T в звене l технологической операции i используется с коэффициентом k_{ij} , то его выработка в течение всего этого периода составит величину $p_{ij}k_{ij}T$, что приведет к росту потребности в нем. Коэффициенты использования оборудования в различных звеньях технологических операций задаются матрицей коэффициентов использования $K = \|k_{i,j}\|_{I \times J}$. Используя эти значения, можно получить оценку средней потребности в оборудовании каждого вида типа вектора-столбца: $n = \|n_j\|_{J \times 1}$.

Динамический расчет требований к ресурсам. Рассмотрим годовой грузооборот контейнерного терминала Q , который является суммой частных грузопотоков $Q = \sum_{k=1}^K q_k$. Среднее значение

грузооборота за месяц составляет величину $\overline{q_{\text{мес}}} = \frac{Q}{12}$, среднее значение суточного грузопотока — величину $\overline{q_{\text{сут}}} = \frac{Q}{365}$. Так же могут определяться любые иные грузопотоки — квартальный, сменный, декадный. В то же время каждый грузопоток может характеризоваться своим расписанием прохождения в рассматриваемый промежуток времени: годовой грузопоток может быть равномерным или концентрироваться в более коротком периоде, недельный грузопоток может предполагать различное распределение по дням недели, в течение суток может наблюдаться разная активность в дневные и ночные часы и др. Иными словами, если любой рассматриваемый интервал времени T разбивается на N интервалов $\Delta T = \frac{T}{N}$, то интенсивность частного (и, соот-

ветственно, суммарного) грузопотока, понимаемая как количество груза, требующего обработки

за период времени ΔT , или $q_{\Delta T} = \frac{\Delta Q}{\Delta T}$, является переменной (случайной) величиной, колеблющейся вокруг среднего значения за весь период $\overline{q_T} = \frac{Q}{T}$. Как следствие, требования к ресурсам для выполнения операций с разной интенсивностью также будут являться переменными, колеблющимися вокруг некоторых средних значений.

Каждый интервал времени для тех или иных целей анализа разбивается на меньшие интервалы: год — на полугодия, кварталы, месяцы; месяц — на декады или недели; недели — на сутки; сутки — на смены или часы; смены — на часы. Объем грузопотока для каждого из разбиваемых на части первичных интервалов является квазидетерминированной величиной: каждый частный (проектный) годовой грузопоток является «точечным» значением, которое разбивается на различные (вариативные) месячные грузопотоки; каждый отдельный частный вариативный месячный грузопоток, в свою очередь, является «точечным» значением для разбиения на различные суточные грузопотоки; каждый отдельный суточный грузопоток опять становится «точечным» значением для разбиения на различные часовые грузопотоки (рис. 2).

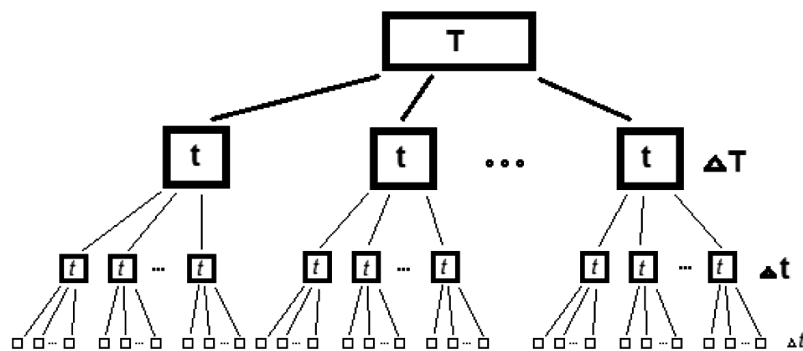


Рис. 2. Иерархия интервалов моделирования

Пусть интервал T разбивается на N интервалов $\Delta T = t = \frac{T}{N}$, т. е. $T = \|u_i\|_{1 \times N}$. Предположим, что известно задание на обработку в пределах интервала T , т. е. какой объем грузопотока обрабатывается в каждом дискрете ΔT . Способ, с помощью которого это осуществляется, т. е. каким образом объем грузопотока Q^k разбивается на значения q_n^k , $n = \overline{1, N}$, может быть различным, и здесь это распределение считается заданным, т. е. известны значения матрицы $Q^k = \|q_k[t]\|_{K \times N} = \|q_{k,i}\|_{K \times N}$.

В этом случае оценку потребности в оборудовании e_j в составе звена l технологической операции i от грузопотока k задает выражение $n_j = \frac{q_n^k}{p_{ij} \Delta T}$. Суммирование требований к оборудованию по всем операциям дает возможность получить оценки потребности в различном оборудовании в каждый момент времени ΔT анализируемого интервала T , или матрицу $N = \|n_{i,l}\|_{J \times T}$.

Обсуждение (Discussion)

Предложенная модель позволяет выполнить расчет необходимого количества оборудования на контейнерном терминале с учетом неравномерностей частных грузопотоков. Годовой грузопоток терминала, состоящий из множества частных грузопотоков, задается матрицей, представленной в табл. 1.

Таблица 1

Матрица частных грузопотоков

Грузопотоки					
q_1	q_2	...	q_k	...	q_K

Прохождение грузопотока через структурные элементы грузового терминала описывается множеством операций, необходимых для обработки данного грузопотока, и представляется в виде матрицы технологического маршрута (табл. 2).

Таблица 2

Матрица технологического маршрута

Грузопотоки	Операции					
	w_1	w_2	...	w_i	...	w_I
q_1	$\alpha_{1,1}$	$\alpha_{1,2}$	...	$\alpha_{1,i}$	...	$\alpha_{1,I}$
q_2	$\alpha_{2,1}$	$\alpha_{2,2}$	...	$\alpha_{2,i}$	...	$\alpha_{2,I}$
...	...	...	...	...	...	...
q_k	$\alpha_{k,1}$	$\alpha_{k,2}$	...	$\alpha_{k,i}$	...	$\alpha_{k,I}$
...	...	...	...	...	...	...
q_K	$\alpha_{K,1}$	$\alpha_{K,2}$	...	$\alpha_{K,i}$	...	$\alpha_{K,I}$

Произведение матрицы частных грузопотоков на матрицу технологических маршрутов дает нагрузку на операцию. Каждая операция при этом требует определенного перегрузочного оборудования для ее выполнения. Матрица, с помощью которой задается используемое в операции технологическое оборудование, называется *матрицей технологии операции* (табл. 3). При этом, поскольку для выполнения операции может потребоваться перегрузочная линия, в состав которой входит несколько различных единиц оборудования, при расчетах может использоваться ряд матриц технологии операции.

Таблица 3

Матрица технологии операции

Операции	Оборудование звена 1					
	e_1	e_2	...	e_j	...	e_I
w_1	$\beta_{1,1}$	$\beta_{1,2}$	...	$\beta_{1,j}$	...	$\beta_{1,I}$
w_2	$\beta_{2,1}$	$\beta_{2,2}$	...	$\beta_{2,j}$	...	$\beta_{2,I}$
...	...	...	...	...	...	...
w_i	$\beta_{i,1}$	$\beta_{i,2}$	...	$\beta_{i,j}$	...	$\beta_{i,I}$
...	...	...	...	...	...	...
w_I	$\beta_{I,1}$	$\beta_{I,2}$	...	$\beta_{I,j}$	...	$\beta_{I,I}$

Каждая единица перегрузочного оборудования описывается матрицей производительности этого оборудования на каждой операции (табл. 4).

Таблица 4

Матрица производительности оборудования

Операции	Производительность звена 1					
	e_1	e_2	...	e_j	...	e_I
w_1	$p_{1,1}$	$p_{1,2}$	...	$p_{1,j}$	...	$p_{1,I}$
w_2	$p_{2,1}$	$p_{2,2}$	...	$p_{2,j}$	...	$p_{2,I}$
...	...	...	...	...	...	...
w_i	$p_{i,1}$	$p_{i,2}$	...	$p_{i,j}$	...	$p_{i,I}$
...	...	...	...	...	...	...
w_I	$p_{I,1}$	$p_{I,2}$	...	$p_{I,j}$	...	$p_{I,I}$

Прохождение грузопотока через терминал во времени характеризуется неравномерностью, задаваемой периодом обработки каждого частного грузопотока. Неравномерность частного грузопотока описывается матрицей его значений на каждый малый период ΔT (табл. 5).

Таблица 5

Распределение частных грузопотоков во времени

ΔT	ΔT	ΔT	ΔT	...	ΔT
q_1^1	q_2^1	q_3^1	q_4^1	...	q_N^1
q_1^2	q_2^2	q_3^2	q_4^2	...	q_N^2
...	...	...	...	...	...
q_1^K	q_2^K	q_3^K	q_4^K	...	q_N^K

Каждый частный грузопоток может быть распределен на разные частичные промежутки времени, что оказывает влияние на объем и интенсивность поступления суммарного грузопотока на терминал (рис. 3).

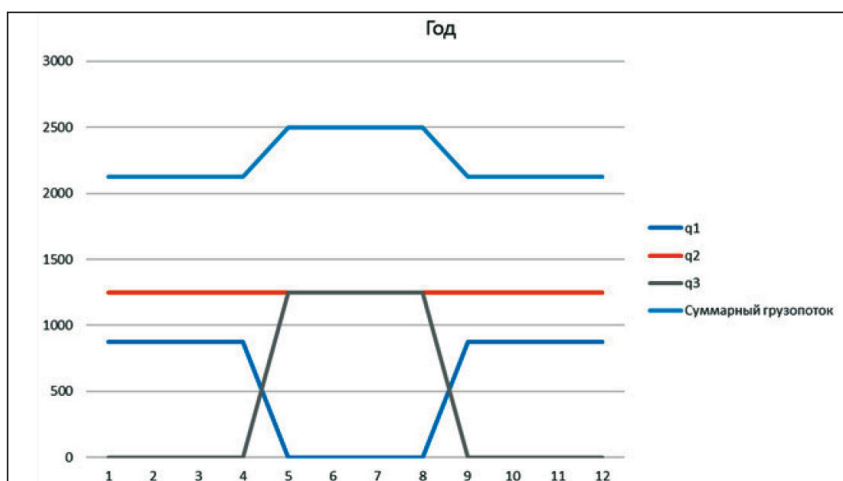


Рис. 3. Распределение частных и суммарного грузопотоков во времени

Неравномерное распределение грузопотока в течение года и наложение частных грузопотоков друг на друга дает более высокую суточную нагрузку на операции, в связи с чем повышается потребность в количестве перегрузочного оборудования. На рис. 4 представлен график изменения суточной потребности в оборудовании в разные периоды года, из которого можно определить вклад каждого частного грузопотока в общую потребность в перегрузочном оборудовании (рис. 5).

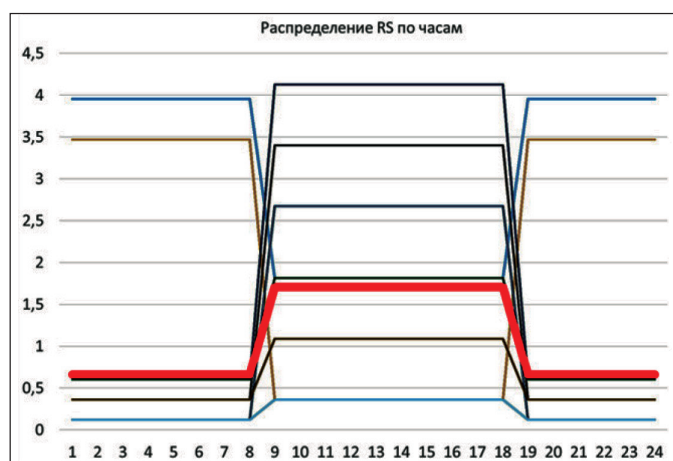


Рис. 4. Распределение потребности в перегрузочном оборудовании в разные периоды года

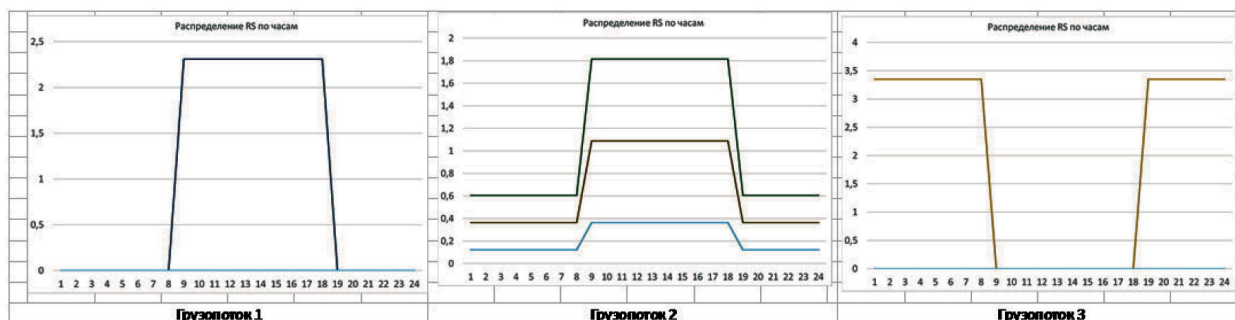


Рис. 5. Распределение потребности в оборудовании для частных грузопотоков

На рис. 6 представлена гистограмма распределения вероятностей в потребности необходимого оборудования. Как видно из представленных графиков, неравномерное распределение частных грузопотоков приводит к существенным всплескам в потребности в оборудовании. При этом следует учитывать, что при расчете необходимого количества оборудования все переменные считались детерминированными. Распределение в потребности оборудования было получено без применения методов имитационного моделирования, т. е. без учета случайного характера параметров модели, а только путем использования предложенной динамической теоретико-множественной модели, позволяющей учесть неравномерность поступающего грузопотока. Таким образом, предложенная модель может быть использована как основа для создания имитационных моделей грузовых терминалов.

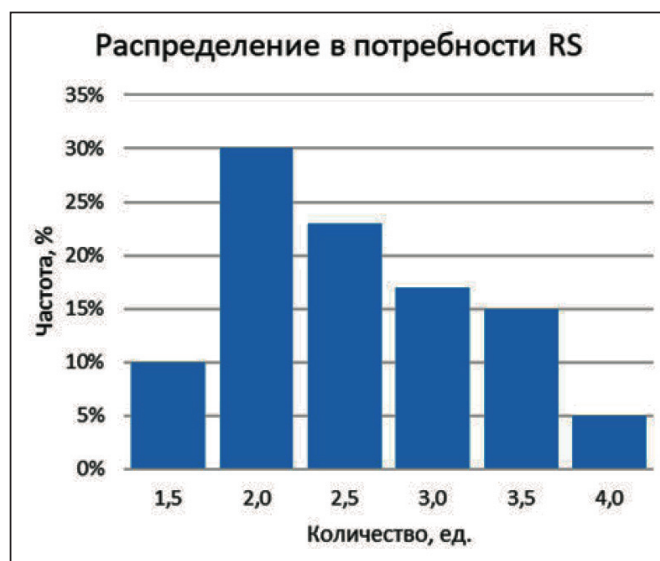


Рис. 6. Гистограмма распределения потребности в оборудовании

Выводы (Summary)

На основе выполненного исследования можно сделать следующие выводы:

1. В работе была предложена теоретико-множественная модель, описывающая деятельность контейнерного терминала, обрабатывающего сложный структурированный грузопоток.
2. Применение модели к расчету необходимого количества перегрузочного оборудования позволяет получить распределение вероятностей в его потребности с учетом неравномерных грузопотоков.
3. Предложенная модель может быть использована как основа для создания более сложных имитационных моделей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ершов Ю. Л. Математическая логика / Ю. Л. Ершов, Е. А. Палютин. — М.: Наука, 1987. — 336 с.
2. Проталинский О. М. Теоретико-множественная модель процессов грузового порта / О. М. Проталинский, А. А. Ханова, И. О. Григорьева // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. — 2009. — № 2. — С. 83–89.
3. Von Herrn Cantor. Über eine Eigenschaft des Inbegriffes aller reellen algebraischen Zahlen / Von Herrn Cantor // Journal für die Reine und Angewandte Mathematik. — 1985. — Vol. 1874. — Is. 77. — Pp. 258–262. DOI: 10.1515/crll.1874.77.258.
4. Cantor G. Über unendliche, lineare Punktmannigfaltigkeiten / G. Cantor // Mathematische Annalen. — 1883. — Vol. 21. — Pp. 545–591. DOI: 10.1007/BF01446819.
5. Михеев М. Ю. Математические и информационно-структурные модели эргатических систем: монография / М. Ю. Михеев [и др.]. — Пенза: Изд-во ПензГТУ, 2015. — 160 с.
6. Elrad T. Aspect-oriented programming / T. Elrad, R.E. Filman, A. Bader // Communications of the ACM. — 2001. — Vol. 44. — No. 10. — Pp. 29–32. DOI:10.1145/383845.383853.
7. Simmonds D. M. The Programming Paradigm Evolution / D. M. Simmonds // Computer. — 2012. — Vol. 45. — No. 06. — Pp. 93–95. DOI: 10.1109/MC.2012.219.
8. Völter M. Model-driven software development: technology, engineering, management / M. Völter, T. Stahl, J. Bettin, A. Haase, S. Helsen. — John Wiley & Sons, 2006. — 446 p.
9. Mens T. Challenges in software evolution / T. Mens, M. Wermelinger, S. Ducasse, S. Demeyer, R. Hirschfeld, M. Jazayeri // Eighth International Workshop on Principles of Software Evolution (IWPSE'05). — IEEE, 2005. — Pp. 13–22. DOI: 10.1109/IWPSE.2005.7.
10. Шилов Н. В. Заметки о трёх парадигмах программирования / Н. В. Шилов // Компьютерные инструменты в образовании. — 2010. — № 2. — С. 24–37.
11. Frame S. A Comparison of Functional and Imperative Programming Techniques for Mathematical Software Development / S. Frame, J. W. Coffey // Journal of Systemics, Cybernetics and Informatics. — 2014. — Vol. 12. — Num. 2. — Pp. 49–53.

REFERENCES

1. Ershov, Yu. L., and E. A. Palyutin. *Matematicheskaya logika*. M.: Nauka, 1987.
2. Protalinskiy, Oleg Miroslavovich, Anna Alexeevna Khanova, and Irina Olegovna Grigorieva. "Set-theoretical model of cargo port activity." *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics* 2 (2009): 83–89.
3. Von Herrn Cantor. "Über eine Eigenschaft des Inbegriffes aller reellen algebraischen Zahlen." *Journal für die Reine und Angewandte Mathematik* 1874.77 (1985): 258–262. DOI: 10.1515/crll.1874.77.258.
4. Cantor, G. "Über unendliche, lineare Punktmannigfaltigkeiten." *Mathematische Annalen* 21(1883): 545–591. DOI: 10.1007/BF01446819.
5. Mikheev, M. Yu., T.V. Zhashkova, I.Yu. Semochkina, et al. *Matematicheskie i informatsionno-strukturnye modeli ergaticheskikh sistem: Monografiya*. Penza: PenzGTU, 2015.
6. Elrad, Tzila, Robert E. Filman, and Atef Bader. "Aspect-Oriented Programming." *Communications of the ACM* 44.10 (2001): 29–32.
7. Simmonds, Devon M. "The Programming Paradigm Evolution." *Computer* 45.06 (2012): 93–95. DOI: 10.1109/MC.2012.219.
8. Völter, M., T. Stahl, J. Bettin, A. Haase, and S. Helsen. *Model-driven software development: technology, engineering, management*. John Wiley & Sons, 2006.
9. Mens, Tom, Michel Wermelinger, Stane Ducasse, Serge Demeyer, Robert Hirschfeld, and Mehdi Jazayeri. "Challenges in Software Evolution." *Eighth International Workshop on Principles of Software Evolution (IWPSE'05)*. IEEE, 2005. 13–22. DOI: 10.1109/IWPSE.2005.7.
10. Shilov, N. V. "Zametki o trekh paradigmakh programmirovaniya." *Komp'yuternye instrumenty v obrazovanii* 2 (2010): 24–37.
11. Frame, Scott, and John W. Coffey. "A Comparison of Functional and Imperative Programming Techniques for Mathematical Software Development." *Journal of Systemics, Cybernetics and Informatics* 12.2 (2014): 49–53.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Кузнецов Александр Львович —

доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: thunder1950@yandex.ru, kaf_pgt@gumrf.ru

Семенов Антон Денисович —

диспетчер
ООО «Логистический парк «Янино»
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7

Научный руководитель:

Кузнецов Александр Львович,
доктор технических наук, профессор
e-mail: asemyonov054@gmail.com

Щербакова-Слюсаренко Виктория Николаевна —

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

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Kuznetsov, Aleksandr L. —

Dr. of Technical Sciences, professor
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg 198035,
Russian Federation
e-mail: thunder1950@yandex.ru, kaf_pgt@gumrf.ru

Semenov, Anton D. —

dispatcher
LLC "Logistics Park "Yanino"
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg 198035,
Russian Federation

Scientific adviser:

Kuznetsov, Aleksandr L.
Dr. of Technical Sciences, professor
e-mail: asemyonov054@gmail.com

Shcherbakova-Slyusarenko, Victoria N. —

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