

DOI: 10.21821/2309-5180-2024-16-6-837-846

MONTE-CARLO ANALYSIS MODEL FOR EVALUATION OF CONTAINER TERMINAL PARAMETERS

A. V. Galin¹, P. S. Rudny¹, K. A. Galin²

¹ Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
St. Petersburg, Russian Federation

² St. Petersburg State University of Economics, St. Petersburg, Russian Federation

This paper considers using Monte-Carlo analysis method for evaluation some of the parameters of a container terminal. A high amount of scientific work on this topic is noted in domestic literature. International scientific literature concerning usage of Monte-Carlo method for simulating different parameters of container terminals is also analyzed. We note that foreign authors often use Monte-Carlo analysis as an auxiliary method, for example, for checking results of discrete-event simulation model of a complicated logistical system for adequacy, whereas domestic authors often use Monte-Carlo analysis as a method for direct evaluation of container or other cargo terminals parameters. This study proposes a variant of a model for evaluating the necessary container yard capacity, its area and berth utilization of a container terminal, using Monte-Carlo analysis method. We develop a model based on analytical formulas, where some initial parameters take form of probabilistic distributions, rather than determined values. Such parameters are expected cargo turnover, vessel handling equipment productivity and container dwell times. It should be noted that all these parameters can be preliminarily evaluated by port designers, investors or cargo terminal operators. We show an example of model calculations using Monte-Carlo analysis method and some values of initial parameters. Observed results are adequate for a model of such scope as it shows, for example, that most expected value of berth utilization becomes lower as the number of berths becomes larger.

Keywords: container terminal, throughput capacity, Monte-Carlo analysis, evaluating cargo terminal parameters, probabilistic method

For citation:

Galina, Aleksandr V., P. S. Rudny and K. A. Galin "Monte-Carlo analysis model for evaluation of container terminal parameters." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 16.6 (2024): 837–846. DOI: 10.21821/2309-5180-2024-16-6-837-846.

УДК: 656.6

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ КОНТЕЙНЕРНОГО ТЕРМИНАЛА МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО

А. В. Галин¹, П. С. Рудный¹, К. А. Галин²

¹ ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

² ФГБОУ ВО «СПбГЭУ», Санкт-Петербург, Российская Федерация

В статье рассмотрено применение метода статистических испытаний, также известного как метод Монте-Карло, для оценки некоторых параметров контейнерных терминалов. Отмечается высокий уровень исследования этой темы в современной научной литературе, как отечественной, так и зарубежной. При этом авторы зарубежных исследований чаще используют метод Монте-Карло как вспомогательный инструмент, например, при проверке адекватности дискретно-событийных и имитационных моделей сложных транспортных систем, в то время как авторы отечественных исследований чаще применяют данный метод непосредственно для решения задач, связанных с оценкой параметров контейнерных или других грузовых терминалов. Проанализирована международная научная литература по вопросу использования метода Монте-Карло для оценки и моделирования различных параметров контейнерных терминалов. В настоящем исследовании предложен новый вариант модели оценки потребной вместимости склада, площади складских площадок и коэффициента использования причальной стенки контейнерного терминала с применением метода статистических испытаний. Построена математическая модель

на основе аналитических формул, при этом некоторые исходные параметры заданы не в виде детерминированных значений, а в виде вероятностных распределений. К таким параметрам относятся расчетный грузооборот, производительность оборудования, размещенного на причалах для обработки судов, и средний срок хранения контейнеров. Отмечается, что все эти параметры могут быть в той или иной степени оценены проектировщиками, инвесторами и администрацией грузовых терминалов. Приведен пример расчетов на модели с использованием метода статистических испытаний при определенных заданных исходных данных. Наблюдаются адекватные результаты моделирования, такие, например, как снижение наиболее вероятного значения коэффициента использования причалов с ростом числа причалов, входящих в состав контейнерного терминала.

Ключевые слова: контейнерный терминал, пропускная способность, метод Монте-Карло, показатели грузового терминала, метод статистических испытаний

Для цитирования:

Галин А. В. Модель оценки параметров контейнерного терминала методом Монте-Карло / А. В. Галин, П. С. Рудный, К. А. Галин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2024. — Т. 16. — № 6. — С. 837–846. DOI: 10.21821/2309-5180-2024-16-6-837-846.

Введение (Introduction)

В современных условиях контейнерные перевозки являются одной из приоритетных сфер транспортной отрасли Российской Федерации, поскольку позволяют обеспечивать импорт товаров массового потребления, а также экспорт некоторых видов грузов. Важными звеньями логистических цепочек контейнерных поставок являются грузовые контейнерные терминалы, как морские, так и «сухие» (не имеющие выхода к акватории). Для обеспечения надежной работы отрасли контейнерных перевозок необходимо поддерживать эти элементы инфраструктуры в надлежащем состоянии. Для этого требуется строительство новых и реконструкция некоторых из имеющихся контейнерных портов и грузовых терминалов. Неотъемлемой частью проектирования контейнерного терминала как в рамках нового проектирования, так и в рамках реконструкции, является определение его пропускной способности. Вопросы определения пропускной способности морских портов регламентированы СП 350.1326000.2018 «Нормы технологического проектирования морских портов»¹.

Определение пропускной способности, согласно нормам технологического проектирования, выполняется при помощи аналитических формул, полученных на основе исследований, проведенных в середине – конце XX в. Среди методов, применявшихся в этих исследованиях, можно выделить использование теории массового обслуживания (ТМО) и методы статистических испытаний (метод Монте-Карло). Формулы имеют некоторые предпосылки и ограничения, позволяющие использовать их как быстрый, но не очень точный способ оценки пропускной способности грузового терминала. Так, например, в книге [1] отмечается, что точные аналитические решения уравнений ТМО возможны только для двух случаев, имеющих Пуассоновское распределение периодов прибытия судов в порт, а также либо экспоненциальное распределение времени обслуживания судов, либо постоянное время обслуживания судов.

Один из примеров применения метода статистических испытаний (Монте-Карло) для определения параметров проектируемых морских портов приведен в Руководстве². В прил. II данного документа предложен вариант использования метода Монте-Карло применительно к оценке потребности порта в причалах для обработки заданного грузооборота. В современной отечественной литературе применение метода Монте-Карло для определения параметров грузовых терминалов исследовано достаточно подробно. В частности, большая работа была проведена специалистами Государственного университета морского и речного флота им. адм. С. О. Макарова. Так, в статье [2] метод

¹ СП 350.1326000.2018. Нормы технологического проектирования морских портов. М.: Стандартинформ, 2018. 218 с.

² UNCTAD. Port development. A handbook for planners in developing countries. New York: UN Publications, 1985. 240 p.

Монте-Карло использован для оценки необходимого числа технологических линий, занятых на перегрузке некоторого груза. Отмечается, что несмотря на то, что в результатах исследования уточняются показатели, полученные расчетно-аналитическими методами, они не позволяют оценить последствия временного превышения требований над средними значениями. При составлении расчетной модели цикл технологической операции разделен на некоторое количество отдельных стадий, или «движений», таких, например, как погрузка груза на средство горизонтальной транспортировки, перемещение груза от одного грузового фронта к другому (или в пределах грузового фронта), разгрузка транспортного средства и возвращение средства горизонтальной транспортировки в исходную позицию. При рассмотрении длительности каждой стадии как случайной величины, имеющей некоторое распределение, авторы применяют метод Монте-Карло для генерации случайных значений этих величин, оценки длительности цикла перегрузки груза, и, как следствие, производительности оборудования.

В работе [3] рассмотрены некоторые особенности применения метода Монте-Карло относительно определения потребной вместимости склада. В данном исследовании результаты, полученные с использованием метода Монте-Карло, сравниваются с результатами, полученными графическим методом построения трехмерной поверхности вероятности потребности во вместимости в зависимости от двумерных распределений вместимости расчетных судов и интервалов судозаходов. Сделан вывод о том, что с увеличением количества генераций значений случайных величин (например, при переходе от генерации 1000 результатов методом Монте-Карло к генерации 10000 значений) увеличивается точность проводимых статистических испытаний. Выдвинуто предположение о том, что это может являться косвенным следствием центральной предельной теоремы. В статье [4] рассмотрен пример применения метода Монте-Карло к задаче управления конфигурацией контейнерных штабелей на складе терминала. Применение метода статистических испытаний в этой работе состоит в генерации распределения заданного числа контейнеров по доступным на складе слотам для их хранения. В результате проведения статистических испытаний строятся гистограммы среднего числа движений на каждый контейнер.

Зарубежные исследователи тоже активно используют метод Монте-Карло в научных работах, связанных с морскими портами и грузовыми терминалами. Так, авторы статьи [5] применяют моделирование методом Монте-Карло в рамках вероятностного анализа устойчивости показателей девяти действующих контейнерных терминалов. В исследовании [6] метод Монте-Карло применен для определения оптимального распределения технологических линий (контейнерных перегружателей) и их синхронизации по грузовым фронтам. В указанной публикации ставится задача разработки работоспособной модели, позволяющей оптимально распределять ресурс контейнерного перегружателя, размещаемого на железнодорожном грузовом фронте. Помимо метода статистических испытаний, авторы применяют также имитационное и 3D-моделирование. В статьях [7], [8] выполнено исследование со сложной комбинацией методов дискретно-событийного моделирования (ДСМ), а также методов конечных автоматов и метода Монте-Карло для одновременной оптимизации выделения и составления расписания работ причальных перегружателей, складских перегружателей и движения терминальных тягачей. Метод статистических испытаний в данных работах используется как вспомогательный мета-метод для оценки эффективности предложенных авторами алгоритмов на имеющихся в их распоряжении данных. Разновидность поискового алгоритма, основанного на методе Монте-Карло, предлагается в исследовании [9]. В этой работе метод Монте-Карло используется для решения NP-трудной задачи оптимизации выборки экспортных контейнеров из штабелей.

Целью данного исследования является разработка модели, позволяющей оценивать потребность во вместимости и площади складов, а также коэффициента использования причалов методом Монте-Карло. Сформулированы задачи формирования математической модели в виде набора формул, применения метода Монте-Карло к разработанной модели, проверки результатов моделирования при определенных исходных данных, оценки работоспособности модели.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Предлагаемая модель оценки параметров контейнерных терминалов методом Монте-Карло включает три входных параметра, распределенных по некоторым (произвольным) законам распределения:

1. Расчетный грузооборот контейнерного терминала (Q , тыс. TEU / год). Обычно предположения об этом параметре имеются у заказчика проектирования / реконструкции контейнерного терминала или инвестора;

2. Производительность причального контейнерного перегружателя (P_{STS} , конт. / ч). Этот параметр может быть измерен на действующем терминале при его реконструкции или выбран на основе ежегодно публикуемой статистики, например, UNCTAD Maritime Review или Container Port Performance Index;

3. Средний срок хранения контейнеров на складе (t_{xp} , сут). Этот показатель также может быть измерен на основе статистики действующего контейнерного терминала. Кроме того, администрация действующего терминала может оказывать влияние на этот параметр путем изменения количества бесплатных суток хранения контейнеров на складе и / или изменением размеров тарифов на хранение контейнеров.

Примеры заданных распределений исходных параметров приведены на рис. 1.

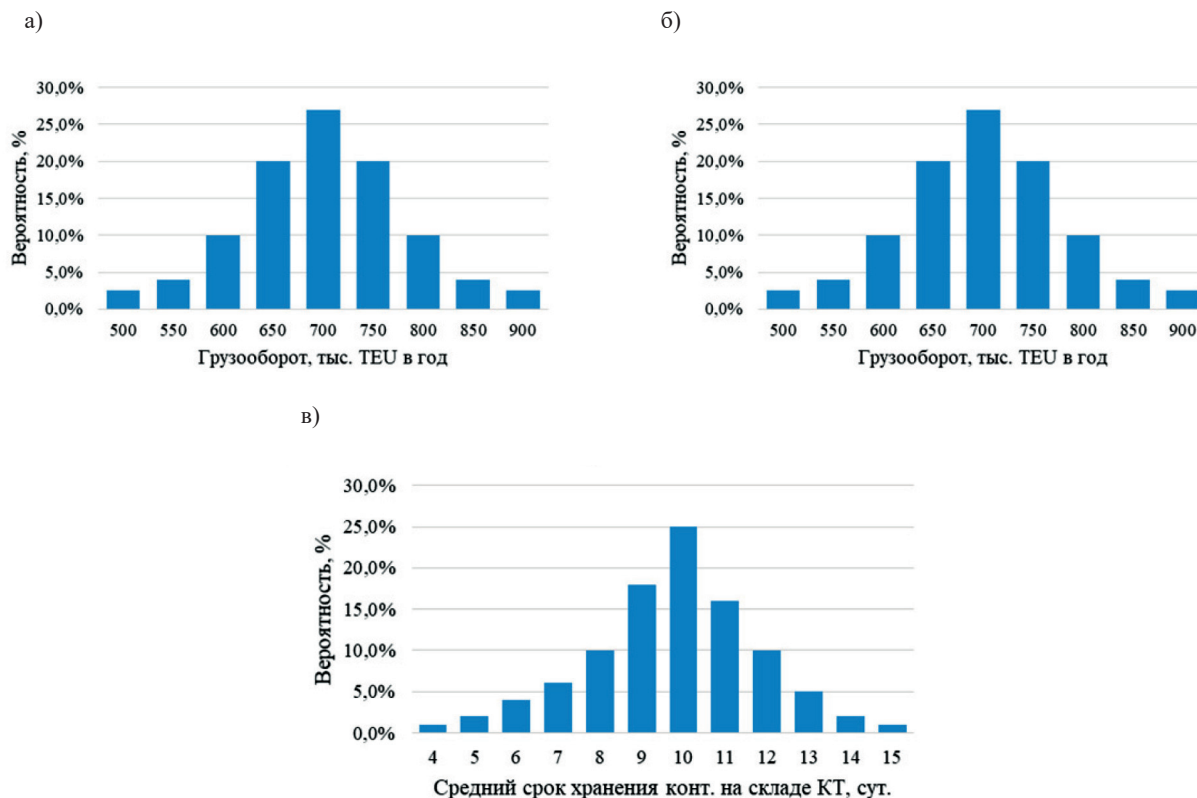


Рис. 1. Примеры распределения случайных величин исходных параметров:

- а — распределение расчетного грузооборота;
б — распределение производительности одной единицы техники;
в — распределение среднего срока хранения контейнеров на складе

Метод статистических испытаний позволяет использовать данные распределения вместо одного predetermined значения расчетной величины. Такой подход лучше отражает реальное положение вещей, в котором заказчик / инвестор / проектировщик не может со 100 %-й вероятностью назвать одно значение ожидаемого расчетного грузооборота, производительности техники или срока хранения контейнеров на складе, однако лицо, принимающее решения, кем бы оно ни являлось в рассматриваемой ситуации, обычно может сказать, какие значения исходных

параметров наиболее вероятны, а какие — почти невозможны. Если на основе анализа грузовой базы заказчиком проектирования сделан вывод о том, что расчетный грузооборот контейнерного терминала составит 700 тыс. TEU в год, в реальности это не означает, что такой грузооборот гарантированно будет обеспечен терминалу. Однако при этом можно с определенной уверенностью утверждать, что маловероятны существенные отклонения от этого грузооборота, т. е. вероятность того, что он будет равен 500 тыс. TEU в год или, наоборот, 900 тыс. TEU в год невелика. Конкретные значения этих вероятностей должны формироваться на основе маркетинговых исследований и опыта инвестора / проектировщика.

Расчетная модель строится на основе следующих формул. Потребная вместимость склада определяется исходя из расчетного грузооборота, среднего срока хранения и бюджета рабочего времени складских площадок в году:

$$E = \frac{Qt_{\text{xp}}}{T_{\text{скл}}}, \quad (1)$$

где Q — расчетный грузооборот, тыс. TEU/год;

t_{xp} — средний срок хранения, сут;

$T_{\text{скл}}$ — бюджет рабочего времени складских площадок в году, сут/год.

Нетрудно заметить, что сразу два из трех расчетных параметров в этой формуле случайными величинами в рамках модели: расчетный грузооборот и средний срок хранения.

Потребная площадь открытых складских площадок определяется по формуле

$$S = \frac{Es_{\text{TEU}}}{r}(1 + k_{\text{зап}}), \quad (2)$$

где E — потребная вместимость контейнерного склада, определяемая по формуле (1);

s_{TEU} — площадь, занимаемая одним контейнером на терминале с учетом максимальной высоты хранения контейнеров, м²;

r — отношение средней высоты хранения контейнеров на складе к максимальной высоте хранения;

$k_{\text{зап}}$ — коэффициент запаса вместимости контейнерного склада.

Один причальный контейнерный перегружатель обеспечивает максимальную суточную интенсивность грузовых работ в соответствии с формулой

$$M_{\text{сутSTS}} = P_{\text{STS}}T_{\text{м/сут}}, \quad (3)$$

где P_{STS} — производительность причального контейнерного перегружателя, конт./ч; задается в виде распределения случайной величины в рамках настоящей модели;

$T_{\text{м/сут}}$ — суточный бюджет рабочего времени морского грузового фронта, ч/сут.

Суточная интенсивность грузовых работ, обеспечиваемая на одном причале, определяется по формуле

$$M_{\text{сутприч}} = M_{\text{сутSTS}}n_{\text{ТЛ}}, \quad (4)$$

где $M_{\text{сутSTS}}$ — суточная интенсивность грузовых работ одного причального перегружателя, конт./сут (определяется по формуле (3));

$n_{\text{ТЛ}}$ — количество технологических линий на причале, ед. Это значение может быть дробным. Например, при двух причальных перегружателях, работающих на одном причале (следует принимать $n_{\text{ТЛ}} = 1,8$ для учета одновременности работ).

Время стоянки судна у причала определяется по формуле

$$t_c = \frac{24D_c}{M_{\text{сутприч}}} + t_{\text{всп}}, \quad (5)$$

где D_c — судовая партия, т. е. сумма количества контейнеров к выгрузке из судна и количества контейнеров к погрузке на судно, конт.;

$M_{\text{сут прич}}$ — суточная интенсивность грузовых работ на причале, конт. / сут. Определяется по формуле (4);

$t_{\text{всп}}$ — время вспомогательных работ с судами, ч. В это время входит продолжительность швартовных операций при постановке и убытии судна от причала, продолжительность оформления документов, комиссий и других непроизводственных стоянок в рамках одного судозахода³.

Потребность в бюджете рабочего времени причальной стенки определяется в модели по формуле

$$t_{\text{раб. прич}} = \frac{t_c Q}{D_c 24}, \quad (6)$$

где t_c — время стоянки судна у причала, определяемое по формуле (5), ч;

Q — расчетный грузооборот, тыс. TEU в год;

D_c — судовая партия, конт.

Количество причалов $N_{\text{прич}}$ задается в модели пользователем вручную и не является расчетным параметром. Благодаря этому можно оценить, достаточным ли является количество причалов некоторого порта для обработки заданного расчетного грузооборота. Для оценки используется коэффициент использования причалов, определяемый как отношение потребности в бюджете рабочего времени причалов к фактически доступному бюджету рабочего времени причальной стенки:

$$k_{\text{исп}} = \frac{t_{\text{раб. прич}}}{N_{\text{прич}} T_{\text{м. год}}}, \quad (7)$$

где $t_{\text{раб. прич}}$ — потребность в бюджете рабочего времени, определяемая по формуле (6), сут/год;

$N_{\text{прич}}$ — количество причалов контейнерного терминала, ед.;

$T_{\text{м. год}}$ — годовой бюджет рабочего времени одного причала (должен быть снижен с учетом остановок работ по метеоусловиям).

Выходными оцениваемыми параметрами модели являются:

- потребная вместимость склада (E , тыс. TEU);
- потребная площадь складских площадок (S , тыс. м²);
- коэффициент использования причальной стенки $k_{\text{исп}}$.

Результаты (Results)

В прогонах модели методом статистических испытаний были использованы исходные значения параметров, приведенные в следующей таблице.

Исходные значения параметров

Параметр	Обозначение	Ед. изм.	Значение
Бюджет рабочего времени складских площадок в году	$T_{\text{скл}}$	сут/год	365
Площадь, занимаемая одним контейнером на терминале	S_{TEU}	м ²	3,6
Отношение средней к максимальной высоте хранения контейнера	r	—	0,7
Коэффициент запаса вместимости склада	$k_{\text{зап}}$	—	15 %
Суточный бюджет рабочего времени причалов	$T_{\text{м. сут}}$	ч/ сут	22
Количество технологических линий на одном причале	$n_{\text{ТЛ}}$	ед.	1,8
Судовая партия	D_c	конт.	1000
Время вспомогательных работ с судами	$t_{\text{всп}}$	ч	7,5
Количество причалов	$N_{\text{прич}}$	ед.	4, 5, 6
Годовой бюджет рабочего времени одного причала	$T_{\text{м. год}}$	сут/год	310

³ Значения $t_{\text{всп}}$ могут быть подобраны в соответствии с разд. 5.4 «Терминалы, специализированные для контейнеров» или прил. Г СП 350.1326000.2018.

Были выполнены прогоны модели для количества причалов $N_{\text{прич}} = 4, 5, 6$.
Результаты моделирования представлены на рис. 2.

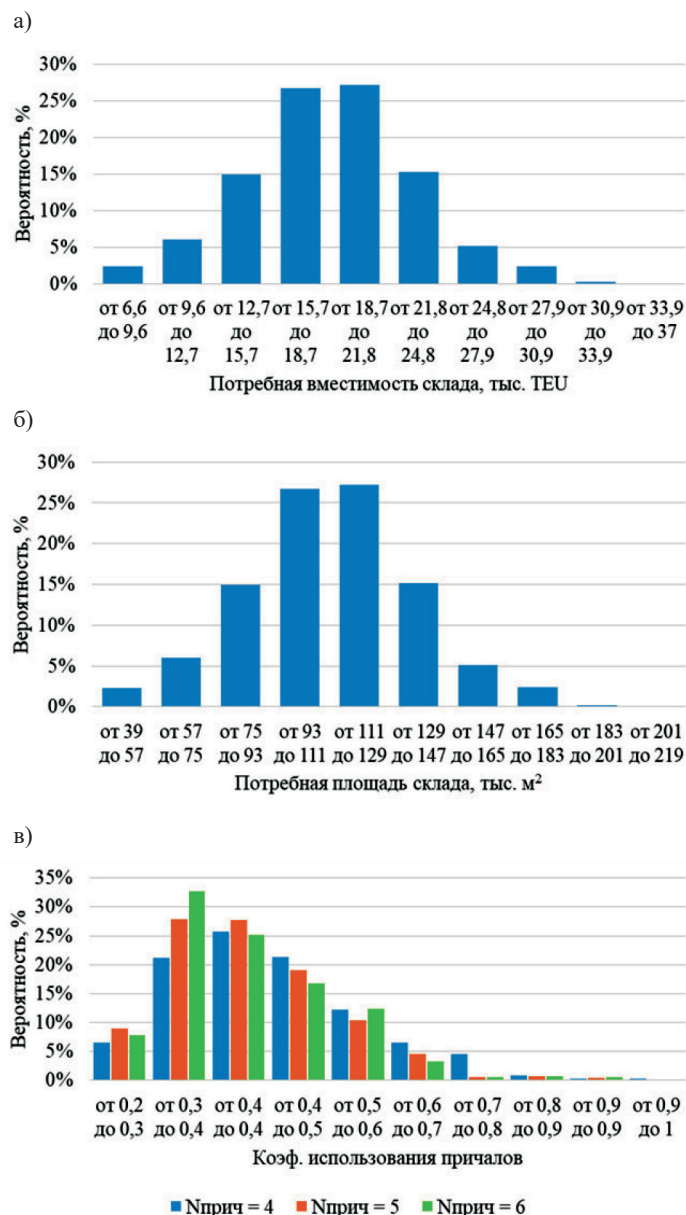


Рис. 2. Результаты моделирования параметров контейнерного терминала методом Монте-Карло:

а — гистограмма потребности во вместимости склада;

б — гистограмма потребности в складской площади;

в — гистограммы использования причальной стенки в зависимости от количества причалов

Результаты моделирования методом Монте-Карло показали, что при заданных значениях и распределениях исходных параметров с вероятностью 92 % потребная вместимость склада не превысит 24,8 тыс. TEU, а потребная площадь складских площадок — 147 тыс. м².

Вероятность того, что коэффициент использования причальной стенки примет значение до 0,6, составляет 87 % в случае четырех причалов, 94 % в случае пяти причалов и 95 % в случае шести причалов.

Обсуждение (Discussion)

При применении метода Монте-Карло в оценке показателей контейнерных терминалов необходимо следить за верной трактовкой результатов моделирования. Гистограммы, представленные

на рис. 2, показывают плотности распределения вероятностей. Например, для оценки вероятности того, что потребная вместимость склада составит до 24,8 тыс. TEU, следует просуммировать вероятности всех предыдущих столбцов гистограммы. Если рассматривается вероятность того, что потребная вместимость составит 21,8–24,8 тыс. TEU, то необходимо выделить только этот столбец. В этом случае значение вероятности составит 15 %. Такие же рассуждения применимы к потребной площади и к коэффициенту использования причалов. Из рис. 2, *а* и *б* видно, что распределения вероятностей потребной вместимости и потребной складской площади практически идентичны. Это связано с заданной линейной зависимостью между данными показателями в рамках модели.

Интересный эффект наблюдается с увеличением числа причалов в модели. При $N_{\text{прич}} = 4$ наиболее вероятные значения коэффициента использования причалов находятся в диапазоне от 0,35 до 0,44 (с вероятностью 26 %). При $N_{\text{прич}} = 5$ коэффициент использования находится с одинаковой вероятностью (28 %) в диапазоне от 0,27 до 0,35 и в диапазоне от 0,35 до 0,44. При $N_{\text{прич}} = 6$ наиболее вероятным (33 %) является диапазон от 0,27 до 0,35. Таким образом, видно, что с ростом числа причалов в модели сдвигается «гребень» волны вероятности с более высоких значений использования причальной стенки к более низким. Это логично, поскольку при прочих равных условиях большее число причалов существенно снижает нагрузку на причальную стенку за счет дополнительных мест для швартовки и обработки судов.

Выводы (Conclusions)

На основе результатов проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Метод Монте-Карло, также известный как метод статистических испытаний, активно используется современными исследователями в области работы грузовых терминалов, дополняя инструментарий проектировщика или исследователя в области грузовых терминалов и его применение не является взаимоисключающим для применения других методов, в том числе аналитических формул.
2. Разработана модель оценки некоторых параметров (потребной вместимости склада, потребной площади складских площадок и коэффициента использования причальной стенки) с использованием метода Монте-Карло.
3. Результаты, полученные на основе модели с использованием метода Монте-Карло, подтверждают работоспособность модели. Отмечается, что результаты моделирования с применением метода Монте-Карло должны корректно интерпретироваться.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Agerschou H.* Planning and design of ports and marine terminals. / H. Agerschou — London: Thomas Telford Publishing, 2004. — 444 p.
2. *Изотов О. А.* Оценка требуемых технологических ресурсов путем статистического моделирования / О. А. Изотов, А. В. Гульяев // 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. — EDN XSRHIT.
3. *Кузнецов А. Л.* Аналитическое уточнение метода статистических испытаний для исследования морских портов / А. Л. Кузнецов, А. В. Кириченко, А. Д. Семенов // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2022. — Т. 14. — № 6. — С. 905–914. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-6-905-914. — EDN CSBMQL.
4. *Кузнецов А. Л.* Стратегия управления штабелем контейнерного терминала / А. З. Борович, А. А. Радченко // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2020. — Т. 12. — № 5. — С. 853–860. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-5-853-860. — EDN IMDHTM.
5. *Junior I. C. L.* Probabilistic analysis of the sustainable performance of container terminals / I. C. L. Junior, U. R. de Oliveira, V. de Almeida Guimarães, L. G. Ribeiro, V. A. Fernandes // Research in Transportation Business & Management. — 2022. — Vol. 43. — С. 100725.

6. Alali K. Management of Container Terminal Operations Using Monte Carlo Simulation / K. Alali, A. Al-Bazi // *OR55 Annual Conference*. — 2013. — Pp. 115–121.

7. Cahyono R. T. Simultaneous allocation and scheduling of quay cranes, yard cranes, and trucks in dynamical integrated container terminal operations / R. T. Cahyono, S. P. Kenaka, B. Jayawardhana // *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. — 2021. — Vol. 23. — Is. 7. — Pp. 8564–8578.

8. Nourmohammadzadeh A. A robust multiobjective model for the integrated berth and quay crane scheduling problem at seaside container terminals / A. Nourmohammadzadeh, S. Voß // *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence*. — 2022. — Vol. 90. — Is. 7. — Pp. 831–853.

9. Xuan B. Monte Carlo Tree Search algorithm for the receiving containers intelligently problem among container shipping terminals / B. Xuan, N. Zhao, Y. Shen, X. Du // *Journal of Computational Methods in Sciences and Engineering*. — 2022. — Vol. 22. — Is. 1. — Pp. 89–96.

REFERENCES

1. H. Agerschou [et al.]. *Planning and design of ports and marine terminals*. London: Thomas Telford Publishing, 2004.

2. O. A. Izotov, A. V. Gulyaev “Otsenka trebuemykh tekhnologicheskikh resursov putem statisticheskogo modelirovaniya.” *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S. O. Makarova* 10.3 (2018): 497–506. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-3-497-506.

3. A. L. Kuznetsov, A. V. Kirichenko, A. D. Semenov “Analiticheskoe utochnenie metoda statisticheskikh ispytaniy dlya issledovaniya morskikh portov.” *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S. O. Makarova* 14.6 (2022): 905–914. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-6-905-914.

4. A. L. Kuznetsov, A. Z. Borevich, A. A. Radchenko “Strategiya upravleniya shtablem kontejnernogo terminala.” *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S. O. Makarova* 12.5 (2020): 853–860. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-5-853-860.

5. Junior, I. C. L., de Oliveira, U. R., de Almeida Guimarães, V., Ribeiro, L. G., & Fernandes, V. A. “Probabilistic analysis of the sustainable performance of container terminals.” *Research in Transportation Business & Management* 43 (2022): 100725.

6. Alali, Kareem, and Ammar Al-Bazi. “Management of Container Terminal Operations Using Monte Carlo Simulation.” *OR55 Annual Conference* (2013): 115–121.

7. Cahyono, Rully Tri, Saskia Puspa Kenaka, and Bayu Jayawardhana. “Simultaneous allocation and scheduling of quay cranes, yard cranes, and trucks in dynamical integrated container terminal operations.” *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems* 23.7 (2021): 8564–8578.

8. Nourmohammadzadeh, Abtin, and Stefan Voß. “A robust multiobjective model for the integrated berth and quay crane scheduling problem at seaside container terminals.” *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence* 90.7 (2022): 831–853.

9. Xuan, Beng, et al. “Monte Carlo Tree Search algorithm for the receiving containers intelligently problem among container shipping terminals.” *Journal of Computational Methods in Sciences and Engineering* 22.1 (2022): 89–96.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Галин Александр Валентинович — доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: galin2403@gmail.com, kaf_top@gumrf.ru
Рудный Павел Сергеевич — аспирант
Научный руководитель:
Галин Александр Валентинович
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
e-mail: pavelrudny@gmail.com, kaf_top@gumrf.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Galin, Aleksandr V. — 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: galin2403@gmail.com, kaf_top@gumrf.ru
Rudny, Pavel S. — Postgraduate
Supervisor:
Galin, Aleksandr V.
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,
Russian Federation
e-mail: pavelrudny@gmail.com, kaf_top@gumrf.ru

Галин Кирилл Александрович — инженер,
ФГБОУ ВО «СПбГЭУ»
191023, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург,
наб. канала Грибоедова, 30/32
e-mail: galin.kirill55@mail.ru

Galin, Kirill A. — engineer
St. Petersburg State University of Economics
30/32 Griboedov canal emb., St. Petersburg,
191023, Russian Federation
e-mail: galin.kirill55@mail.ru

*Статья поступила в редакцию 28 октября 2024 г.
Received: October 28, 2024.*