

DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-1-33-42

SIMULATION OF THE SEA CARGO FRONT OPERATION**A. L. Kuznetsov¹, A. V. Kirichenko¹, D. A. Zaykin²**¹ — Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
St. Petersburg, Russian Federation² — Gazprom Neft Shelf, Ltd., St. Petersburg, Russian Federation

A reliable estimation of the sea port cargo handling throughput remains an actual problem since many different tasks stem from this decision. The preliminary technological design of a future port, project consideration concerning its reconstruction and modernization, changing of its functional profile, variation of the ship sizes and patterns of call (liner and tramp, with scheduled and random calls respectfully), reasonability of calls, scheduled maintenance and random failures of the berth cargo-handling equipment – all these factors form a wide range of the consumers for this prognoses information, both on strategical and operative level of decision taking. Obviously, this level, as well as the time and labor resources allocated for this task set different features of the procedure, while the demands for the principal quality of the resulting decision remain nearly the same and reflect “a certain level of uncertainty” due to stochastic nature of values. As the conducted study shows, there are alternative variants to gain relatively reliable prognoses result: development of unique simulation models, requiring essential labor and time inputs and bearing a narrow “local” character, or usage of simplified analogues, nearly as general as the analytical techniques. The paper deals with a new approach for port project and design procedure based upon the stochastic model of the sea cargo front combined with the elements of discrete-event simulation. The model develops analytical estimations gained by the analytical methods aimed for assessment of berths number, which forms on task of the direct design procedure of the technologic design. In the reverse design procedure the model enables to assess a possible cargo flow which could be handled by the group of berths. The adequacy of the results is confirmed by the simulation experiments.

Keywords: sea cargo front, ship calls, technological design, simulation, stochastic model.

For citation:

Kuznetsov, Aleksandr L., Aleksandr V. Kirichenko, and Dmitrii A. Zaikin. “Simulation of the sea cargo front operation.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 11.1 (2019): 33–42. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-1-33-42.

УДК 656.073.2**МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ МОРСКОГО ГРУЗОВОГО ФРОНТА****А. Л. Кузнецов¹, А. В. Кириченко¹, Д. А. Зайкин²**¹ — ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация² — ООО «Газпром нефть шельф», Санкт-Петербург, Российская Федерация

Выполненная достоверная оценка пропускной способности морского грузового фронта портов и отдельных терминалов остается актуальной проблемой, обусловленной широким спектром решаемых задач, основанных на указанном прогнозе. Рассмотрены основные задачи: начальное технологическое проектирование перспективного порта; проектные соображения по его реконструкции, модернизации, изменению специализации; варьирование потоков судов различных размерных групп и форм привлечения (линейной и рейсовой, характеризующимися регулярными и трамповыми судозаходами соответственно); сезонность прибытия судов и грузов; плановые и внеплановые ремонты перегрузочного оборудования и причального фронта, все это формирует широкий спектр потребителей прогнозной информации как на стратегическом, так и на оперативном уровнях принятия решений. Очевидно, что уровень принятия решений, возможные временные рамки и трудовые затраты на их получение существенно различаются в зависимости от стадии проекта, несмотря на то, что требования к качеству прогноза приблизительно одинаковы и остаются «на определенном уровне неопределенности», так как разработчики постоянно учитывают вероятностный характер результатов. Проведенное исследование показывает, что имеются альтернативные варианты получения достоверных прогнозных результатов — уникальные имитационные модели, требующие существенных

затрат и имеющие локальное («точечное») значение, либо их упрощенные аналоги, во многом обладающие универсальностью расчетно-аналитических аналогов. В статье рассмотрен новый подход к проблеме прогнозирования возможностей порта на основе предложенной вероятностно-статистической модели работы морского грузового фронта с элементами дискретно-событийного моделирования. Модель уточняет получаемые аналитическими расчетными методами оценки количества причалов, необходимых для обработки грузопотока в прямой задаче технологического проектирования. В обратной задаче модель позволяет оценить возможный грузопоток, который способна обработать группа анализируемых причалов. Адекватность результатов моделирования оценивается на основании проведенных вычислительных экспериментов.

Ключевые слова: морской грузовой фронт, судозаходы, технологическое проектирование, моделирование, вероятностно-статистическая модель.

Для цитирования:

Кузнецов А. Л. Моделирование работы морского грузового фронта / А. Л. Кузнецов, А. В. Кириченко, Д. А. Зайкин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 11. — № 1. — С. 33–42. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-1-33-42.

Введение (Introduction)

Традиционно считается, что морской грузовой фронт является наиболее подходящим объектом для применения теории массового обслуживания (ТМО) [1]. Действительно, после опубликования фундаментального исследования¹, подробно описывающего методологию представления причалов каналами обслуживания и заходящих в порт судов потоком заявок, соответствующие приемы в явном или неявном виде легли в основу практически всех расчетных инструментов технологического проектирования^{2,3}. Полученные результаты существенно расширили возможность расчетных методик, поскольку впервые дали возможность оценки качества обслуживания судов в порту [2]. Критерием качества при этом служила величина относительного ожидания, или отношения времени ожидания обслуживания ко времени обслуживания [3]. Мерой затрат ресурсов на достижение этого качества была выбрана степень занятости причалов $k_{зан}$: чем она больше, тем дольше в среднем судно должно пребывать в очереди, ожидая освобождения причала. Были разработаны относительно несложные методики определения оптимального соотношения этих двух величин, входящих в формульные зависимости ТМО [4].

Проблемы возникли тогда, когда от этих расчетных методик начали требовать все большей и большей точности, а развитие системы морской транспортировки грузов все чаще стало нарушать допущения, необходимые для адекватности выведенных в ТМО формул [5]. Во-первых, существенные различия в размерах судов сделали каналы обслуживания невзаимозаменяемыми, а время их обслуживания — не подчиняющимся выдвинутому требованию экспоненциальности распределения. Во-вторых, поток судов не мог быть приближен моделью простейшего случайного потока, поскольку организация маршрутов чаще всего стала представлять собой комбинацию регулярных судозаходов магистральных маршрутов и случайных судозаходов трамповых судов на фидерных участках. Вследствие этого с учетом практических требований научное сообщество, вовлеченное в разработку методов проектирования морских портов, занялось интенсивным поиском новых математических инструментов. Существенный прогресс в информационных технологиях и, в первую очередь, технологии программирования, в качестве наиболее перспективного инструмента послужил основанием для использования имитационного моделирования [6]–[8]. В то же время эта методика оказалась не столь универсальной, как теория массового обслуживания, поскольку модель должна строиться *ad hoc* с учетом специфических характеристик моделируемого объекта [9], [10]. Аналогичное обстоятельство определяет и другой недостаток: высокую трудоемкость создания модели по сравнению с интенсивной (формульной) моделью представления знаний ТМО [11], [12].

¹ UNCTAD Port Development — A Handbook for Planners in Developing Countries. UNITEDNATIONS, NewYork, 1985. 227 p.

² Об утверждении технического регламента о безопасности объектов морского транспорта: Постановление Правительства Российской Федерации от 12 августа 2010 года № 620 (с изм. на 29 июля 2017 г.).

³ СП 350.1326000.2018. Нормы технологического проектирования морских портов. М.: Стандартинформ, 2018. 218 p.

Как следствие, актуальной и перспективной задачей остается поиск простого и универсального инструмента, по точности находящегося между моделями ТМО и имитационными *ad hoc* моделями. В данной статье рассматривается один из таких инструментов.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Пусть имеем поток Q заходящих в порт контейнерных судов, представленный движением по расписанию и случайными судозаходами. Пример такого распределения приведен в табл. 1, которая представляет собой экранную форму ввода данных используемой для анализа модели.

Таблица 1

Структура и объем грузопотока

			Годовой грузооборот	Q	3 664 000	[TEU/год]									
			Судоходство линейное												
№	Судно	Вместимость	Грузооборот		1 664 000	[TEU/год]	расписание судозаходов								
	Тип	TEU		Тип захода	Число судов		пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс		
1	СК-8000	8000		расп	52					1					
2	СК-4000	4000		расп	104				1		1				
			Судоходство трамповое												
	Судно	Вместимость	Грузооборот		2 000 000	[TEU/год]	Примечание: судозаход обозначается 1								
№	Тип	TEU	Доля в грузообороте, %	Тип захода	Число судов	Порядок									
3	СК-1000	1000	5	Эрланг	50	4									
4	СК-2000	2000	15	Эрланг	75	4									
5	СК-3000	3000	25	Эрланг	83	4									
6	СК-4000	4000	30	Эрланг	75	4									
7	СК-8000	8000	25	Эрланг	31	4									
	ИТОГО		100%												

Данному распределению соответствуют частные грузопотоки, сведенные в табл. 2 и 3.

Таблица 2

Частные грузопотоки по типам судов

СК-8000	Q1	832 000	[TEU/год]
СК-4000	Q2	832 000	[TEU/год]
Линейный груз/об	Q_{лин}	1 664 000	[TEU/год]
СК-1000	Q3	100 000	[TEU/год]
СК-2000	Q4	300 000	[TEU/год]
СК-3000	Q5	500 000	[TEU/год]
СК-4000	Q6	600 000	[TEU/год]
СК-8000	Q7	500 000	[TEU/год]
Трамповый груз/об	Q_{трамп}	2 000 000	[TEU/год]
Годовой грузооборот:		3 664 000	[TEU/год]

Таблица 3

Соотношение грузопотоков по расписанию и в трамповом судоходстве

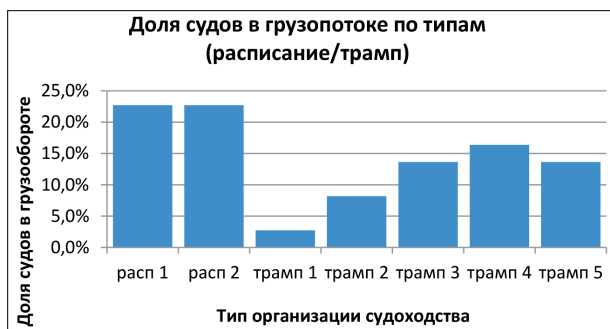
Годовой грузооборот	Q	3 664 000	[TEU/год]	100	[%]
из него линейное	Q_{лин}	1 664 000	[TEU/год]	45	[%]
из него трамп	Q_{трамп}	2 000 000	[TEU/год]	55	[%]

Общее число судозаходов $N_{\text{суд}} = N_{V_1} + \dots + N_{V_7}$, как следует из табл. 1, составляет сорок пять, что при расчетном грузопотоке в 3 664 000 TEU дает средневзвешенное судно вместимостью $V_0 = \frac{Q}{2N_{\text{суд}}} = \frac{3664000 \text{ TEU}}{2 \cdot 45} = 3893 \text{ TEU}$. Для обычных судов, только выгружающих или по-

гружающих в порту судовые партии, соответствующая величина определялась бы как $V_0 = \frac{Q}{N_{\text{суд}}}$.

Соответствующие характеристики рассматриваемого в данном примере грузо- и судопотока показаны на рис. 1.

а)



б)



Рис. 1. Характеристики грузооборота (а) и судооборота (б)

Данные табл. 1 позволяют рассчитать величины математических ожиданий интервалов судозахода для каждого типа судов: $T_{\text{суд}}^i = \frac{365 \cdot 24}{N_{V1}} = \frac{365 \cdot 24 V_1}{Q_i}$. В этой же таблице предполагается распределение интервалов между судозаходами каждого типа судов (в данном случае по законам Эрланга того или иного порядка). Плотность распределения для различных типов тралповых судов из рассматриваемого примера показана на рис. 2.

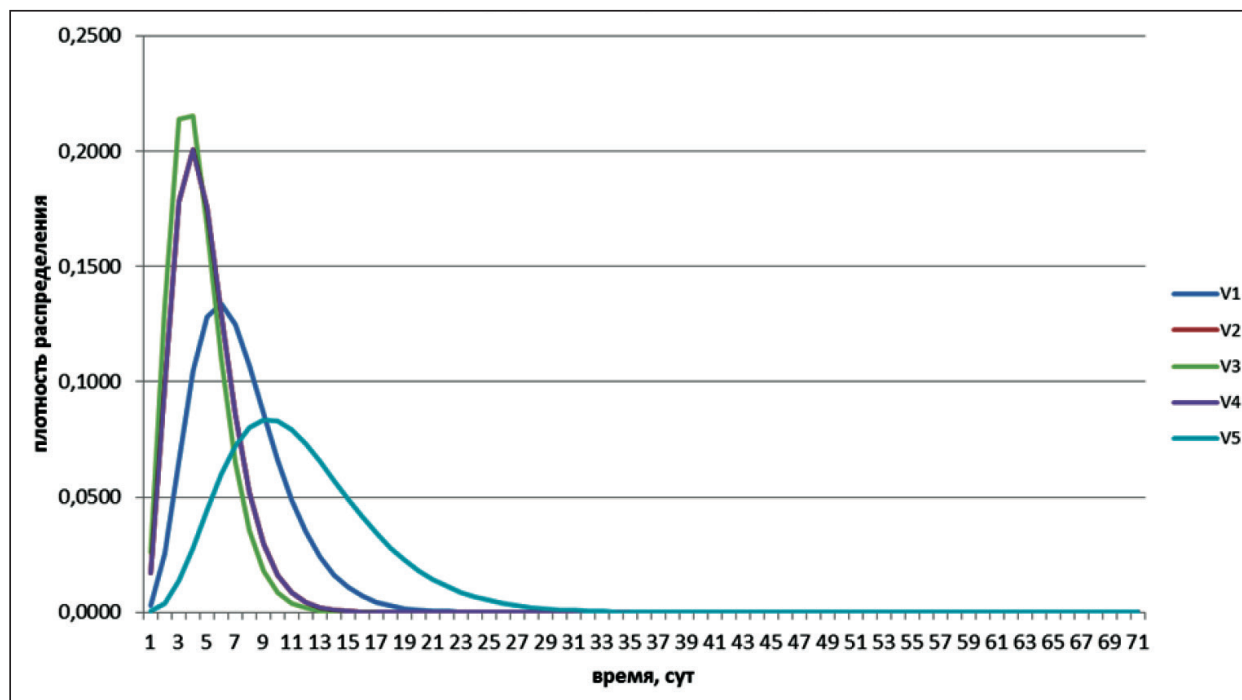


Рис. 2. Плотность распределения интервалов судозахода

Если теперь генерировать значения равномерно распределенной на интервале $[0; 1]$ случайной величины, и для каждого сгенерированного значения находить прообраз интегральной функции распределения (рис. 3), то можно получать последовательность судозаходов, подчиненную выбранным статистическим закономерностям и комбинировать их с заданным расписанием судозаходов. Пример такой генерации, которая составляет метод обратной функции, приведен в табл. 4.

На рис. 3 приведены соответствующие интегральные распределения интервалов судозахода для каждого типа судов.

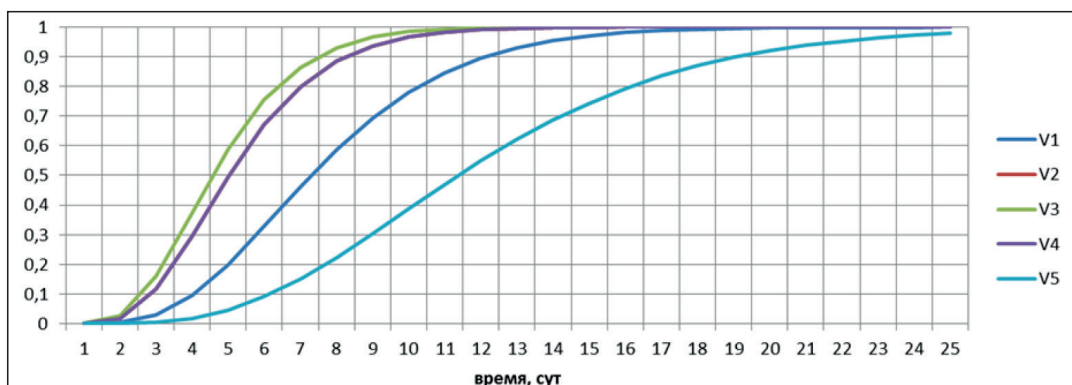


Рис. 3. Интегральные распределения интервалов судозахода

Таблица 4

Пример генерации, составляющей метод обратной функции

Сутки	Трамп					Расп	
	3	4	5	6	7	1	2
1							
2							
3							+
4			+			+	
5							+
6							
7			+	+			
8		+					
9							
10			+				+
11						+	
12			+				+
13	+						
14		+					
15			+	+			
16			+				
17				+	+		+
18						+	
19		+	+				+
20							

В каждые i -е сутки в порт прибывает, таким образом, объем грузопотока $Q_i = \sum_{k=1}^7 v_k V_k$. Здесь $v_k \in \{0; 1\}$ и $v_k = 1$, если в эти сутки в порт прибывает судно V_k вместимости или типа. Кроме того, обработке подлежит объем судов, ожидающих в очереди начиная с предыдущих суток q_{i-1} .

Если в порту имеется N_b причалов и суточная производительность каждого причала есть P_b , то порт может обслужить грузопоток объемом $Q_b = P_b N_b$. Если $Q_i + q_{i-1} > P_b N_b$, то объем грузопотока $q_i = Q_i + q_{i-1} - P_b N_b$ будет поставлен в очередь на обслуживание. В среднем это будет соответствовать очереди длиной $n_q = \frac{q_i}{2D_0}$ контейнерных судов или $n_q = \frac{q_i}{D_0}$ обычных судов.

Рассмотренных простых положений вполне достаточно для формирования алгоритма выполнения шага простейшей имитационной дискретной временной модели. В табл. 5 показана работа этого алгоритма для судозаходов, приведенных в табл. 4. При этом следует отметить, что все объемы судовых партий и производительность кранов являются случайными величинами, генерируемыми по нормальному закону с заданной дисперсией.

Таблица 5

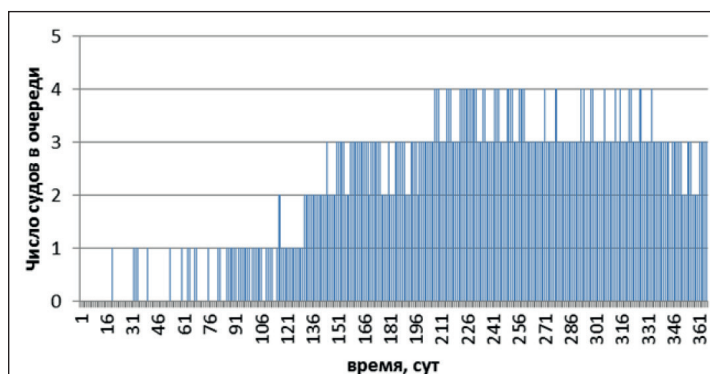
Результаты работы алгоритма

сутки	трамп					расп		q_i	$Q_i + q_{i-1}$	$P_b \cdot N_b$	$Q_i + q_{i-1} > P_b \cdot N_b?$	q_i	n_q	
	3	4	5	6	7	1	2							
1								0	0	5924,788	-5 925	0	0	
2								0	0	5782,256	-5 782	0	0	
3							+	4 374	0	4 374	6710,32	-2 337	0	0
4			+				+	11 613	5 257	11 613	6356,269	5 257	5 257	1
5							+	4 498	3 485	9 755	6270,592	3 485	3 485	0
6								0	0	3 485	5881,004	-2 396	0	0
7			+	+				7 642	1 451	7 642	6190,897	1 451	1 451	0
8		+						2 039	0	3 490	6550,012	-3 060	0	0
9								0	0	0	5578,441	-5 578	0	0
10			+				+	6 982	636	6 982	6345,765	636	636	0
11							+	7 987	2 988	8 623	5635,852	2 988	2 988	0
12			+				+	5 733	3 384	8 720	5335,719	3 384	3 384	0
13	+							865	0	4 249	5583,863	-1 335	0	0
14		+						2 391	0	2 391	4689,664	-2 298	0	0
15			+	+				7 013	405	7 013	6607,345	405	405	0
16			+					2 976	0	3 381	6401,613	-3 021	0	0
17				+	+		+	16 129	9 394	16 129	6735,049	9 394	9 394	1
18							+	7 338	10 508	16 732	6223,611	10 508	10 508	1
19		+	+				+	7 829	12 308	18 338	6029,971	12 308	12 308	2
20								0	6 502	12 308	5805,299	6 502	6 502	1

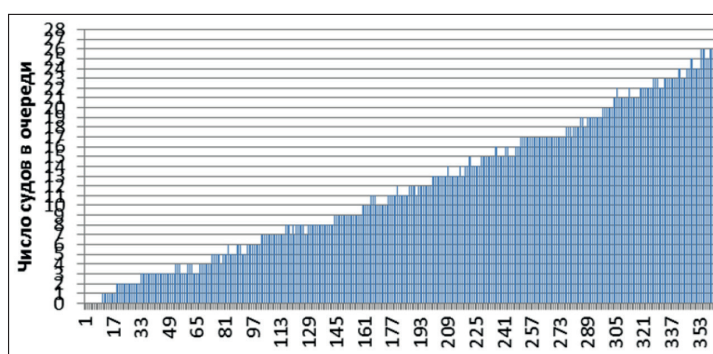
Результаты (Results)

Предположим, что суточная производительность причала составляет 1000 TEU/сут, а морской грузовой фронт представлен группой из пяти причалов. Динамика изменения длины очереди, полученная с помощью описанной ранее модели, приведена на рис. 5, а. Уменьшение числа причалов на единицу, т. е. до четырех, приводит к неограниченному росту длины очереди судов, ожидающих обслуживания, как показано на рис. 5, б. В то же время при увеличении суточной производительности до уровня 1300 TEU/сут группа из четырех причалов способна справиться с заданным грузопотоком при приемлемом качестве обслуживания (рис. 5, в).

а)



б)



в)

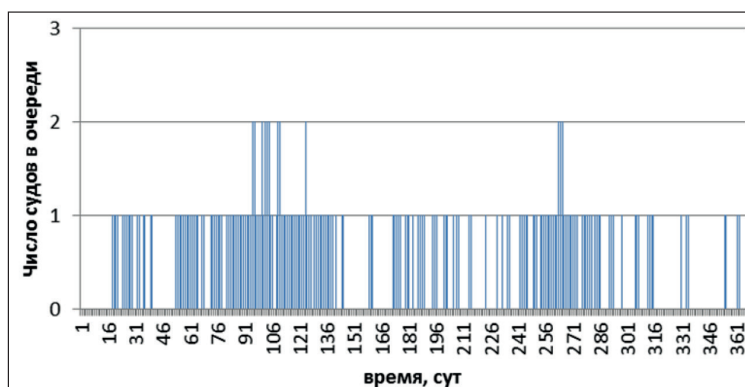


Рис. 5. Динамика изменения очереди:
а — при $N_b = 5$ и $P_b = 1000$ TEU/сут; б — при $N_b = 4$ и $P_b = 1000$ TEU/сут;
в — при $N_b = 4$ и $P_b = 1300$ TEU/сут

Обсуждение (Discussion)

Полученные результаты, несмотря на всю правдоподобность, не имеют практической ценности без сопоставления с результатами, полученными с помощью других методик. В то же время правдоподобность составляет самостоятельное и важное свойство в теории моделирования, связанное с понятием *валидности модели*.

Более убедительным доказательством валидности служит приведение анализируемой модели (за счет подбора параметров и характеристик внешней среды) к режиму работы некоторой проверенной иными способами и считающейся достоверной эталонной модели. Так, при исключении судозаходов по расписанию и выборе законов распределения, позволяющих выполнить условия применимости, можно сравнить поведение анализируемой модели с классической моделью ТМО. Совпадение результатов будет свидетельствовать не только о валидности модели, но и позволит провести ее калибровку, что является еще одним обязательным шагом процедуры установления адекватности модели исследуемому объекту. Таким образом, можно утверждать, что различные методики дают не разные результаты, а в разной степени характеризуют разброс величин вокруг этих средних значений. Иными словами, они дают разные оценки степени достоверности полученных результатов.

Проведенные в рамках указанной схемы эксперименты показывают совпадение результатов моделирования с расчетами по формулам ТМО, что позволяет считать предлагаемую модель как минимум не уступающей по точности традиционным методам технологического проектирования. Способ построения модели и лежащие в ее основе алгоритмы позволяют считать ее достаточно робастной, т. е. сохраняющей результативность при изменении параметров, выходящих за допущения ТМО.

Еще один способ установления адекватности состоит в том, чтобы выполнить сравнение результатов работы предлагаемой модели, настроенной на конкретный легко проверяемый вариант, с данными этого расчета. С этой целью был проведен ряд экспериментов, в результате которых была подтверждена адекватность предложенной модели.

Заключение (Conclusion)

В статье описана простейшая вероятностно-статистическая модель работы морского грузового фронта с элементами дискретно-событийного моделирования. Модель расширяет представления, получаемые аналитическими (формульными) расчетными методами, о количестве причалов, необходимых для обработки расчетного грузопотока в прямой задаче технологического проектирования. В обратной задаче модель позволяет оценить возможный грузопоток, который способна обработать группа проектируемых причалов. Основным оцениваемым показателем

является полный грузооборот через морской грузовой фронт порта, а варьируемыми параметрами — распределение состава флота по вместимости, количество размещаемых для работы на судне причальных кранов, их производительность, доля рабочего времени и величины разброса случайных величин. Результатами моделирования являются: значения средней и максимальной длины очереди, коэффициент занятости причального фронта и относительное ожидание судов в очереди на обслуживание. Эти параметры позволяют оценить пропускную способность группы причалов, т. е. максимальный грузопоток, обрабатываемый при соблюдении требуемого уровня качества (мощностью причала является значение грузопотока при постоянной работе всех причалов).

Модель обладает определенными методическими ограничениями, которые не позволяют считать ее адекватным инструментом для окончательного расчета параметров причального фронта и характеристик обслуживания судов. В то же время получаемые с ее помощью оценки являются достаточно достоверными для использования на начальных этапах технологического проектирования морских портов, когда пространство поиска окончательных решений сужается за счет использования традиционного в практике проектирования метода укрупненных показателей.

Адекватность и простота предлагаемой модели, возможность работы с гетерогенными потоками судов, низкая трудоемкость планирования и проведения экспериментов позволяют надеяться на то, что она может служить полезным вспомогательным средством технологического проектирования морских портов и терминалов разного типа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов А. Л. Эволюция показателей, характеризующих эксплуатационную работу портов и терминалов / А. Л. Кузнецов, А. В. Кириченко, В. Н. Щербакова-Слюсаренко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2017. — Т. 9. — № 5. — С. 909–924. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-5-909-924.
2. Кузнецов А. Л. Моделирование развития портов / А. Л. Кузнецов, А. В. Галин // Морские интеллектуальные технологии. — 2018. — Т. 1. — № 3(41). — С. 176–182.
3. 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.
4. Кузнецов А. Л. Выбор формы представления структуры универсальной имитационной модели контейнерного терминала / А. Л. Кузнецов, В. Н. Щербакова-Слюсаренко, А. С. Ткаченко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 3. — С. 520–532. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-3-520-532.
5. Кузнецов А. Л. Имитационное моделирование в задачах анализа операций в морских портах / А. Л. Кузнецов, А. В. Кириченко, В. Н. Щербакова-Слюсаренко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 2. — С. 259–274. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-2-259-274.
6. Schepler X. Global planning in a multi-terminal and multi-modal maritime container port / X. Schepler, S. Balev, S. Michel, É. Sanlaville // Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. — 2017. — Vol. 100. — Pp. 38–62. DOI: 10.1016/j.tre.2016.12.002.
7. Rødseth K. L. How do economies of density in container handling operations affect ships' time and emissions in port? Evidence from Norwegian container terminals / K. L. Rødseth, P. B. Wangsness, H. Schøyen // Transportation Research Part D: Transport and Environment. — 2018. — Vol. 59. — Pp. 385–399. DOI: 10.1016/j.trd.2017.12.015.
8. Irannezhad E. A joint hybrid model of the choices of container terminals and of dwell time / E. Irannezhad, C. Prato, M. Hickman // Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review. — 2017. — Vol. 121. — Pp. 119–133. DOI: 10.1016/j.tre.2017.12.005.
9. Loke K. B. Marginal Expansion Planning of Infrastructure at a Container Terminal / K. B. Loke, A. S. A. Kader, M. Z. Ahmad, S. A. Hamid, M. R. Othman // Open Journal of Marine Science. — 2015. — Vol. 5. — Pp. 99–107. DOI: 10.4236/ojms.2015.51009.

10. Martín-Soberón A. M. Automation in Port Container Terminals / A. M. Martín-Soberón, A. Monfort, R. Sapiña, N. Monterde, D. Calduch // *Procedia-Social and Behavioral Sciences*. — 2014. — Vol. 160. — Pp. 195–204. DOI: 10.1016/j.sbspro.2014.12.131.

11. Saeed N. Application of queuing methodology to analyze congestion: A case study of the Manila International Container Terminal, Philippines / N. Saeed, O. I. Larsen // *Case Studies on Transport Policy*. — 2016. — Vol. 4. — Is. 2. — Pp. 143–149. DOI: 10.1016/j.cstp.2016.02.001.

12. Liu D. Modeling assignment of quay cranes using queueing theory for minimizing CO2 emission at a container terminal / D. Liu, Y. E. Ge // *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. — 2018. — Vol. 61. — Pp. 140–151. DOI: 10.1016/j.trd.2017.06.006.

REFERENCES

1. Kuznetsov, Aleksandr L., Aleksandr V. Kirichenko, and Victoria N. Shcherbakova-Slyusarenko. “The evolution of indicators describing the operation of ports and terminal.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 9.5 (2017): 909–924. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-5-909-924.

2. Kuznetsov, Alexander L., and Alexander V. Galin. “Port development simulation.” *Marine Intellectual Technology* 1.3(41) (2018): 176–182.

3. 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.

4. Kuznetsov, Alexander L., Victoriya N. Shcherbakova-Slyusarenko, and Andrey S. Tkachenko. “On the selection of the format for the container terminal simulation model’s structure.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 10.3 (2018): 520–532. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-3-520-53.

5. For citation: Kuznetsov, Aleksandr L., Aleksandr V. Kirichenko, and Victoria N. Shcherbakova-Slyusarenko. “Simulation in the tasks of sea port operational analyses.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 10.2 (2018): 259–274. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-2-259-274.

6. Schepler, Xavier, Stefan Balev, Sophie Michel, and Éric Sanlaville. “Global planning in a multi-terminal and multi-modal maritime container port.” *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 100 (2017): 38–62. DOI: 10.1016/j.tre.2016.12.002.

7. Rødseth, Kenneth Løvold, Paal Brevik Wangsness, and Halvor Schøyen. “How do economies of density in container handling operations affect ships’ time and emissions in port? Evidence from Norwegian container terminals.” *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 59 (2018): 385–399. DOI: 10.1016/j.trd.2017.12.015.

8. Irannezhad, Elnaz, Carlo Prato, and Mark Hickman. “A joint hybrid model of the choices of container terminals and of dwell time.” *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 121 (2017): 119–133. DOI: 10.1016/j.tre.2017.12.005.

9. Loke, Keng Bin, Ab. Saman Abd. Kader, Mohd. Zamani Ahmad, Saharuddin Abdul Hamid, and Mohamad Rosni Othman. “Marginal Expansion Planning of Infrastructure at a Container Terminal.” *Open Journal of Marine Science* 5 (2015): 99–107. DOI: 10.4236/ojms.2015.51009.

10. Martín-Soberón, Ana María, Arturo Monfort, Rafael Sapiña, Noemí Monterde, and David Calduch. “Automation in port container terminals.” *Procedia-Social and Behavioral Sciences* 160 (2014): 195–204. DOI: 10.1016/j.sbspro.2014.12.131.

11. Saeed, Naima, and Odd I. Larsen. “Application of queuing methodology to analyze congestion: A case study of the Manila International Container Terminal, Philippines.” *Case Studies on Transport Policy* 4.2 (2016): 143–149. DOI: 10.1016/j.cstp.2016.02.001.

12. Liu, Ding, and Ying-En Ge. “Modeling assignment of quay cranes using queueing theory for minimizing CO2 emission at a container terminal.” *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 61 (2018): 140–151. DOI: 10.1016/j.trd.2017.06.006.

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

Кириченко Александр Викторович —

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

Зайкин Дмитрий Аркадьевич —

заместитель начальника Управления,
начальник отдела эксплуатации флота ООО
«Газпром нефть шельф»
197198, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
Зоологический переулок, д. 2-4, лит. Б
e-mail: *Zaykin.DA@gazprom-neft.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

Kirichenko, 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: *KirichenkoAV@gumrf.ru*

Zaikin, Dmitrii A. —

Deputy Head of Department -
Head of Fleet Operations Department
Gazprom Neft Shelf, Ltd.
2-4/B Zoological Lane, St. Petersburg, 197198,
Russian Federation
e-mail: *Zaykin.DA@gazprom-neft.ru*

*Статья поступила в редакцию 15 января 2019 г.
Received: January 15, 2019.*