

UNIVERSAL SIMULATION MODEL OF THE FLOW OF SHIPS TO THE SEA CARGO FRONT OF THE PORT

A. L. Kuznetsov¹, O. A. Chistotin², M. J. Zatolokina¹

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

² AO "NPO" Akonit", Vologda, Russia

The article describes the results of completed research aimed at clarifying the primary base of methods for technological design of ports and terminals. Along with the main parameter expected annual cargo traffic, the key for all such calculations is the structure of the ship traffic that implements this cargo flow, or the flow of the fleet of ships that sell cargo traffic. Each type of vessel is characterized by its own parameters, which determine the duration of service in the port and, ultimately, the occupancy of berths. Traditional analytical methods, without disputing the randomness of the nature of all initial and intermediate values, prescribe the use of average values for the assessment of final technological resources, correcting the results obtained by coefficients of engineering ignorance. This assumption, which makes it possible to use simple algebraic methods for working with deterministic quantities, excludes the emergence of any means of estimating the possible dispersion of values around the obtained average values. In the practice of investment-intensive facilities, such as seaports, the degree of dispersion of parameters characterizes the probability of errors of the first and second types: the creation of insufficient capacity, leading to losses from waiting in the queue for service, and the creation of excess capacity associated with the loss of excess capitalization. There is no objective measure that determines the balance between these losses, since the decision is purely entrepreneurial, based on the risk of losses and possible gains. This study describes a tool that allows you to make appropriate entrepreneurial decisions fairly objectively.

Keywords: seaports, terminals, technological design, simulation modeling.

For citation:

Kuznetsov Alexander L., Chistotin Oleg A., Zatolokina Marina J. "Universal simulation model of the flow of ships to the sea cargo front of the port" *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admiral S. O. Makarova* 16.5 (2024): 700–708. DOI: 10.21821/2309-5180-2024-16-5-700-708.

УДК 656.6

УНИВЕРСАЛЬНАЯ ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ПОТОКА ПОСТУПЛЕНИЯ СУДОВ НА МОРСКОЙ ГРУЗОВОЙ ФРОНТ ПОРТА

А. Л. Кузнецов¹, О. А. Чистотин², М. Ю. Затолокина¹

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

² АО «НПО «Аконит»», г. Вологда, Российская Федерация

В статье дано описание результатов исследований, направленных на уточнение первичной базы методов технологического проектирования морских портов и терминалов. Наряду с основным параметром — ожидаемым годовым грузопотоком, ключевым вопросом для всех подобных расчетов является структура потока судов, реализующего грузопоток. Отмечается, что каждый тип судна характеризуется определенными параметрами, от которых зависит продолжительность обслуживания в порту и, в конечном счете, занятость причалов. Подчеркивается, что с учетом случайности характера всех исходных и промежуточных величин традиционные аналитические методы предписывают использование для оценки конечных технологических ресурсов средние величины, позволяющие корректировать полученные результаты, что дает возможность использования простых алгебраических методов работы с детерминированными величинами и исключает появление каких-либо средств оценки возможного разброса значений вокруг полученных средних величин. Обращается внимание на то, что в практике работы таких инвестиционно емких объектов, как морские порты, степень разброса параметров характеризует вероятности ошибок первого и второго рода, а именно создание недостаточных мощностей, приводящих к возникновению потерь от ожидания в очереди на обслуживание, и избыточных мощностей, связанных с потерей

избыточной капитализации. На основе проведенного исследования можно сделать вывод о том, что объективной меры, определяющей баланс между этими потерями, не существует, поскольку решение является сугубо предпринимательским, основанном на риске потерь и возможных выигрышей. В предлагаемом исследовании приведено описание инструмента, позволяющего достаточно объективно принимать соответствующие предпринимательские решения.

Ключевые слова: морские порты, терминалы, расчетные величины, поправочные коэффициенты, технологическое проектирование, имитационное моделирование, грузопотоки.

Для цитирования:

Кузнецов А. Л. Универсальная имитационная модель потока поступления судов на морской грузовой фронт порта / А. Л. Кузнецов, О. А. Чистотин, М. Ю. Затолокина // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2024. — Т. 16. — № 5. — С. 700–708. DOI: 10.21821/2309-5180-2024-16-5-700-708.

Введение (Introduction)

При расчете требуемых терминальных мощностей, рекомендуемых нормативными документами и используемых в практике проектирования морских портов, используются детерминированные величины. Случайную природу исходных, промежуточных и конечных расчетных величин необходимо учитывать в соответствующих методах введением поправочных коэффициентов, изменяющих значения пропорционально неопределенности и неуверенности в них.

В большинстве случаев значения коэффициентов и расчетных констант задаются нормативно, без объяснения способа выбора и обоснования его объективности, а понятие *достаточности* интерпретируется как гарантированно больший размер оцениваемого ресурса по сравнению с возможной потребностью в нем. В полной мере это относится к расчету числа и характеристик причалов, парка технологического (подъемно-транспортного) оборудования, ожидаемой производительности, параметров обслуживания, емкости складов и иных ключевых элементов портовой инфраструктуры. В то же время ошибки в расчетах, приводящие к нехватке технологических ресурсов (так называемые «ошибки первого рода»), напрямую снижают качество оказываемых терминалом услуг, что отражается на конкурентной позиции порта. Ошибки иного рода связаны с созданием избыточных технологических мощностей, обладающих высокой капиталоемкостью, и возникающими вследствие этого финансово-экономическими потерями портов и терминалов.

В современных условиях задач морской отрасли страны является масштабное реформирование портового сектора, вызванное глобальными изменениями торговых направлений и радикальной переориентацией соответствующих грузопотоков. Эту задачу необходимо решить в кратчайшие сроки в условиях ограниченности выделяемых для этих целей средств. В данной работе приведено описание метода расчета базовых параметров работы морского грузового фронта терминала общего вида на основе использования имитационного моделирования.

Целью работы является создание унифицированного инструмента для генерации потока судов по заданному вероятностному закону, который может быть использован во многих задачах имитационного моделирования работы морских портов и терминалов.

Методы и материалы (Methods and Material)

В практике технологического проектирования морских перегрузочных комплексов, портов и терминалов расчеты основных параметров строго регламентированы действующими нормами [1], [2]. Недостатки и ограничения подобного подхода в последнее время отмечают многие исследователи как в нашей стране [3]–[5], так и за рубежом [6], [7]. Основным входным параметром для технологических расчетов, связанных с оценкой требуемого объема указанных ранее ресурсов, является состав флота судов, характеристики которых входят практически во все используемые математические методы [1], [5]. Суда-представители в конкретном проекте могут значительно отличаться друг от друга по своим характеристикам, поэтому в выполняемых расчетах неявно выполнено их усреднение. Например, интенсивность погрузочно-разгрузочных работ $P_{\text{сут}}$ определяют,

исходя из продолжительности грузовых работ и производственных стоянок при обработке расчетных судов, как средневзвешенную величину:

$$P_{\text{сут}} = \frac{1}{\sum_{j=1}^m \frac{A_j (t_{\text{гр}j} + t_{\text{п.с}j})}{24D_j}}, \quad (1)$$

где m — количество типов расчетных судов;

A_j — доля расчетных судов типа j в общем объеме расчетного грузооборота Q ;

$t_{\text{гр}j}$ — время занятости причала выполнением грузовых работ при обработке судна типа j , ч;

$t_{\text{п.с}j}$ — среднее время занятости причала под производственными стоянками судна типа j , ч;

D_j — расчетная загрузка судна типа j , т.

В рассматриваемом случае отдельное судно j загрузкой D_j обрабатывается за валовое время $(t_{\text{гр}j} + t_{\text{п.с}j})$, валовая суточная интенсивность $p_j = \frac{24D_j}{t_{\text{гр}j} + t_{\text{п.с}j}}$, доля судов j в грузопотоке $A_j Q$,

общее время обработки всех расчетных судов типа j составляет $T_j = \frac{A_j Q}{p_j}$. При этом общее время

обработки судов всех типов у причалов проектируемого комплекса $T = \sum_{j=1}^m T_j$.

Разделив весь грузопоток Q на общее время его обработки T , получим указанную в Своде правил¹ формулу, по сути, представляющую известную величину гармонического среднего:

$$P_{\text{сут}} = \frac{Q}{T} = \frac{Q}{\sum_{j=1}^m T_j} = \frac{Q}{\sum_{j=1}^m \frac{A_j Q}{p_j}} = \frac{1}{\sum_{j=1}^m \frac{A_j (t_{\text{гр}j} + t_{\text{п.с}j})}{24D_j}}. \quad (2)$$

Иными словами, исходя из предполагаемых величин (состава судов, их доли в расчетном грузообороте и технологических параметров обработки у причала), определяется обобщенная величина: суточная производительность при непрерывной работе на усредненное судно. Полученное значение используется для расчета требуемого числа причалов.

Очевидно, что случайный характер используемых величин обуславливает возможные отклонения (флуктуации) реальных результирующих значений от среднего, даже если последнее рассчитано верно. Степень разброса этих значений и их вероятность в аналитических методах, в которых используются средние величины, не может быть оценена. Однако именно отклонения в практике работы портов вызывают потери в виде простоев и очередей в ожидании на обслуживание транспортных средств (морских и наземных) и технологического оборудования.

Базовой методической причиной невозможности получения полного статистического анализа расчетных параметров при использовании нормативных методов являются операции с усредненными детерминированными величинами, выполняемые в соответствии с используемыми математическими приемами.

Моделируемым объектом (процессом) в данном исследовании является поток судов, заходящий в произвольный морской порт, т. е. коммерческий порт, предназначенный для любого вида грузов. В зависимости от способа организации морских перевозок суда в потоке следуют либо по расписанию (в линейном судоходстве), либо случайным образом (в трамповом судоходстве). Движение судов по расписанию связано с фиксированными интервалами между их прибытиями (например, это могут быть судозаходы два раза в неделю: в среду и пятницу). Как следствие, возникает фиксированная пара интервалов прибытия: двое и пять суток. Средний интервал между судозаходами, в данном случае составляющий 3,5 сут, не отражает специфики их детерминированного неравномерного распределения, что является наглядной иллюстрацией методических сложностей проведения аналитических расчетов.

¹ СП 350.1326000.2018. Нормы технологического проектирования морских портов. Дата введ. 01.09.2018.

Суда, движущиеся в трaмповом судоходстве, прибывают в порт со случайным интервалом между заходами. Тип и параметры распределения соответствующей случайной величины определяются особенностями организации и характеристиками маршрута. Как правило, для простоты расчетов при использовании методов теории вероятности и теории массового обслуживания в качестве типа распределения выбирается распределение Пуассона [8], [9]. В более детальных исследованиях используют распределения Эрланга различных порядков [5], [10], выбор которых основан на изучении отдельных частных характеристик судопотоков.

В настоящем исследовании предлагается обойти ограничения, возникающие как на основе фиксированных неравномерных ограничений линейного движения, так и являющиеся следствием фиксированного типа выбранного закона распределения, за счет использования произвольных индивидуальных характеристик случайных величин. С этой целью все расчетные суда разделяются на две категории: *следующие по расписанию* и *прибывающие случайно*. Пример задания характеристик расчетного грузопотока и реализующего его судопотока для имитационного моделирования приведен на рис. 1.

		Годовой грузооборот	Q	3 029 600	[т/год]								
Судоходство линейное													
Судно	Вместимость	Грузооборот		1 029 600	[ТЕУ/год]	расписание судозаходов							
Тип	ТЕУ		Тип захода	Число судов		пн	вт	ср	чт	пт	сб	вс	
СК-1000	3000		расп	52					1				
СК-4000	4000		расп	104				1		1			
Судоходство трамповое													
Судно	Вместимость	Грузооборот		2 000 000	[режим]								
Тип	ТЕУ	Доля в грузообороте, %	Тип захода	Число судов	Порядок								
СК-1000	1000	5	Эрланг	56	4								
СК-2000	2000	15	Эрланг	83	4								
СК-3000	3000	25	Эрланг	93	4								
СК-4000	4000	30	Эрланг	83	4								
СК-5000	5000	25	Эрланг	56	4								
	ИТОГО	100%											

Примечание: судозаход обозначается 1

Примечание: судозаход обозначается 1

Рис. 1. Пример задания структуры грузопотока и судопотока (экранная форма)

Полный расчетный грузопоток состоит из грузопотока судов, движущихся по расписанию $Q_{\text{расп}}$, и заходящих в порт случайным образом $Q_{\text{трамп}}$. Для судов, движущихся по расписанию, указывается их загрузка и конкретное время заходов. Если судно типа i с загрузкой v_i прибывает n_i раз в неделю, оно формирует частный грузопоток $q_i = 52v_i n_i$. Грузопоток, обеспечиваемый линейным расписанием, составляет, таким образом, величину $Q_{\text{расп}} = \sum_i q_i$. Как видно из ранее изложенного, эта компонента грузопотока задается расписанием и вместимостью соответствующих судов.

Прибывающие случайно расчетные суда делятся на группы, в каждой из которых кроме долей участия в общем грузопотоке, в данном случае расчетный грузопоток $Q_{\text{трамп}}$, формируемый трaмповыми судами, задается непосредственно, и каждый частный грузопоток судов типа j рассчитывается как

$$q_j = Q_{\text{трамп}} A_j.$$

Загрузка каждого судна v_j позволяет рассчитать среднее число судозаходов в год:

$$n_j = \frac{Q_j}{v_j},$$

формирующее математическое ожидание распределения интервалов для судов этого типа:

$$m_j = MO[T_{\text{инт}}^j] = \frac{365}{n_j}.$$

Этот параметр необходим для задания любого распределения независимо от его вида. Другим параметром в большинстве случаев является характеристика рассеивания, задаваемая обычно

в виде дисперсии D_x , стандартного отклонения $\sigma_x = \sqrt{D_x}$ или относительного стандартного отклонения $r_x = \frac{\sigma_x}{m_j}$. Значение данного параметра, как и закон распределения, не выводятся из ис-

ходных расчетных данных и устанавливаются пользователем при эксперименте с моделью.

Пусть интервал между заходами судов типа j подчиняется произвольному закону распределения $F_j(T_{\text{инт}}^j)$. Если генерировать некоторую случайную величину ϵ , равномерно распределенную на интервале $[0; 1]$, то значения обратной функции $F_j^{-1}(\epsilon)$ будут представлять собой реализацию случайной величины, распределенной по этому закону: $T_{\text{инт}}^j = F_j^{-1}(\epsilon)$. Иными словами, для каждого выбранного типа судов существует возможность сформировать совокупный поток прибытия в порт, подчиняющийся соответствующему закону распределения (рис. 2).

сутки		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
расписание	1				+							+							+							+					
	2			+		+					+	+						+	+						+	+					
трамп	3											+							+											+	
	4					+	+						+					+				+	+						+		
	5						+	+					+	+				+			+					+					
	6							+	+			+	+	+												+	+			+	

Рис. 2. Пример генерации судозаходов расчетных судов

Полученный таким образом совокупный поток может служить основой для выполнения более точных технологических расчетов, чем алгебраические методы и методы Монте-Карло.

Результаты (Results)

Для иллюстрации того, как полученные данные моделирования могут использоваться в расчетах, рассмотрим грузопоток, заданный примером, приведенным на рис. 2. Параметры примера сведены в следующую таблицу:

Тип	N i	T i, сут	T i, сут
1	52	2	104
2	104	3	312
3	58	2	116
4	90	3	270
5	93	3	279
6	84	4	336
7	54	4	216
Всего:	535	Т обл, сут	1434
		п прич	3,9

Судно, пришедшее на терминал в некоторый момент времени (см. рис. 2), требует для своей обработки причала в течение времени, соответствующего его типу (см. данные, приведенные в таблице). Новое судно, пришедшее в течение обслуживания очередного судна, предъявляет свои требования к причалу, как и все последующие. Как следствие, поток судов, определенный на рис. 2, формирует динамически меняющиеся требования к количеству причалов.

Совокупное число судозаходов и время обслуживания судов устанавливают требования к бюджету времени обслуживания, равному 1435 сут. Следовательно, при плановом бюджете времени одного причала, равном 365 сут, совокупный бюджет четырех причалов, а именно 1460 сут, фактически позволяет обеспечить их обслуживание. Именно такое количество причалов рекомендуется выбирать в соответствии с требованиями, установленными в нормативных документах, в основе которых находятся алгебраические расчеты. В то же время результаты моделирования

показывают, что вследствие случайного характера прибытия судов в порт в определенные сутки требования к количеству причалов будут достигать в два раза больших значений (рис. 3).

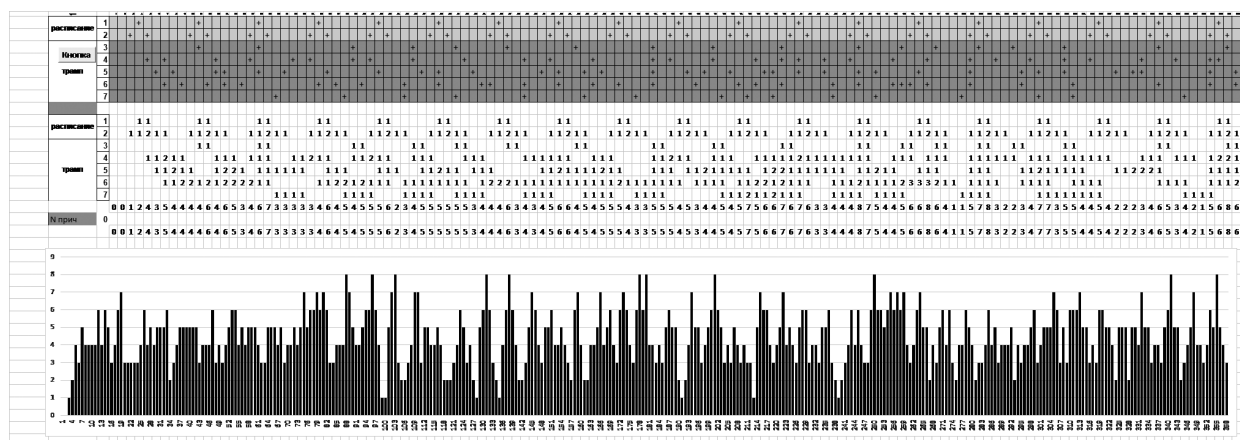
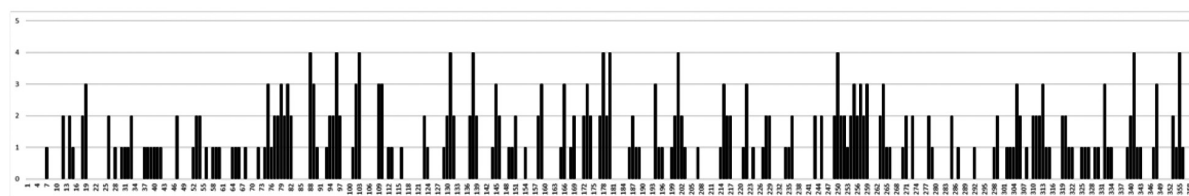


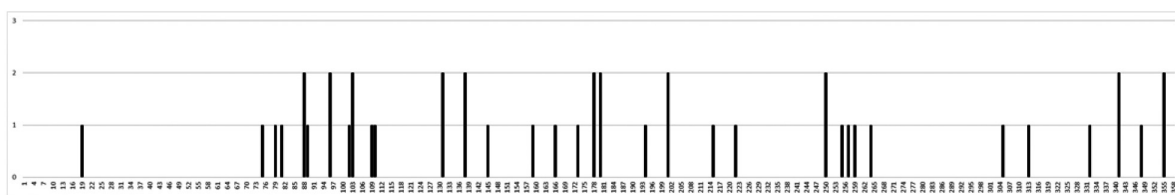
Рис. 3. Требования к количеству причалов, определяемые потоком судов

В случае четырех причалов, рассчитанных в соответствии с нормативными документами, в течение значительного периода времени требования к причалам останутся неудовлетворенными (рис. 4, а). Требования к количеству причалов, превышающие их выбранное количество, приводят к появлению очереди судов на рейде. Более того, дальнейшее увеличение числа причалов до шести и даже семи не гарантирует отсутствие очереди (рис. 4, б, в).

а)



б)



в)

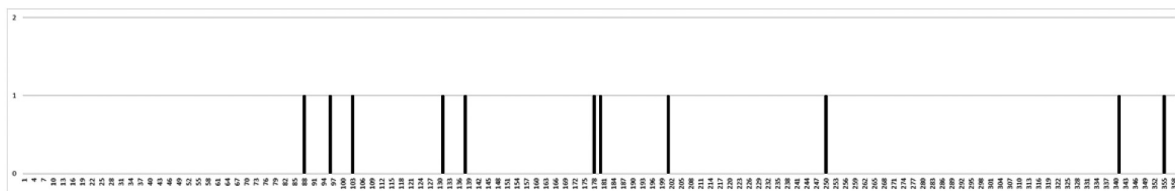


Рис. 4. Неудовлетворенные требования для обслуживания:

а — при четырех причалах; б — при шести причалах; в — при семи причалах

Следует отметить, что приведенные на рис. 3 и 4 результаты являются оценкой длины очереди снизу, поскольку учитывают лишь приход судна в момент теоретической занятости причала пришедшими ранее судами: в действительности, стоящее в очереди судно может занять освободившийся причал, тем самым увеличив время ожидания в очереди. Тем не менее этот

способ представляется достаточно эффективным на стадиях предварительной проработки технологических проектов, но для этого требуется установление его адекватности.

Обсуждение (Discussion)

Причалы и поступающие для обработки на них суда образуют обобщенную систему массового обслуживания. Приход судна на терминал является заявкой, причал — каналом ее обслуживания. В то же время классические методы теории массового обслуживания в данном случае неприменимы, поскольку не выполняются требования к стохастическим характеристикам входного потока (он не является простейшим), а время обработки каждой заявки не подчиняется закону Пуассона.

Для доказательства адекватности предлагаемого метода была выполнена реализация традиционной исполняемой модели подобной системы в среде VBA. На рис. 5 показаны результаты моделирования, выполненного с помощью разработанной модели неоднородной системы массового обслуживания для потока судов с параметрами примера, приведенного на рис. 1.

а)



б)

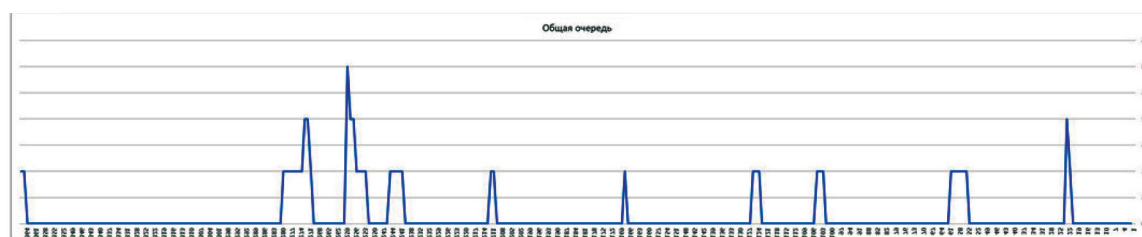


Рис. 5. Очередь судов, ожидающих обслуживания:
а — при шести причалах; б — при семи причалах

Сравнение данных имитационного моделирования, выполненного двумя разными способами, показывает близость полученных результатов. Указанное обстоятельство можно считать обоснованным доказательством адекватности используемой в проекте модели. Еще одним обоснованным доказательством является совпадение результатов имитационного моделирования с расчетами, выполненными с использованием аналитического метода при отключении всех случайных механизмов и вырожденном режиме работы программного обеспечения в режиме алгебраических действий с детерминированными значениями. Основным результатом, позволяющим получить использование имитационного моделирования, является формирование характеристик разброса расчетных величин вокруг средних значений, что недоступно аналитическим методом.

Заключение (Conclusion)

Нормативные методы технологического расчета морских портов и терминалов основаны на устаревшей парадигме алгебраических методов. Использование алгебраических методов в свое время позволило избежать грубых ошибок при проектировании морских торговых портов и терминалов за счет статистической агломерации и усреднения.

Ужесточение требований к эксплуатационным характеристикам существующих и проектируемых портов и терминалов в условиях резкого усложнения условий выживаемости и конкурентоспособности привело к появлению более жестких требования к качеству и срокам проектных

решений. Одним из способов достижения решения этой проблемы является создание инновационных инструментов, в первую очередь за счет разработки средств имитационного моделирования. Создаваемые средства позволяют увеличить возможности существующего инструментария, не выходя за пределы имеющегося опыта проектирования, а также создания и эксплуатации инфраструктурных объектов выбранной категории. Рассмотрен пример решения подобной задачи и доказательство адекватности ее решения, что позволяет надеяться на возможность широкого использования предложенных решений в практике технологического проектирования морских торговых портов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреева Л. А. Задачи совершенствования методов технологического проектирования морских торговых портов в новых условиях / Л. А. Андреева, А. Л. Кузнецов, А. М. Сампиев, А. Д. Семенов // Транспортное дело России. — 2024. — № 1. — С. 164–166. — EDN CERHND.
2. Кузнецов А. Л. О несовершенстве нормативной базы технологического проектирования морских портов / А. Л. Кузнецов, В. А. Погодин // Морские порты России. — 2017. — № 6. — С. 18.
3. Сампиев А. М. Применение метода Монте-Карло для оценки эффективности использования бюджета рабочего времени морского терминала / А. М. Сампиев // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 11, № 1. — С. 68–77. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-1-68-77. — EDN KFDSNQ.
4. Валькова С. С. Методика оценки склада морского порта методами имитационного моделирования / С. С. Валькова, Ю. И. Васильев // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 11, № 3. — С. 485–498. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-3-485-498. — EDN FZEPJJ.
5. Кузнецов А. Л. Роль имитационного моделирования в технологическом проектировании и оценке параметров грузовых терминалов / А. Л. Кузнецов, А. В. Кириченко, В. А. Погодин, В. Н. Щербакова-Слюсаренко // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. — 2017. — № 2. — С. 93–102. DOI: 10.24143/2073-1574-2017-2-93-102.
6. Yu-Chung Tsao A multi-objective mixed robust possibilistic flexible programming approach for sustainable seaport-dry port network design under an uncertain environment / Yu-Chung Tsao, Vo-Van Thanh // Transportation Research. Part E: Logistics and Transportation Review. — 2019. — Vol. 124. — Pp. 13–39.
7. Douma A. M. Design and evaluation of a simulation game to introduce a Multi-Agent system for barge handling in a seaport / A. M. Douma, J. Van Hillegersberg, P. C. Schuur // Decision Support Systems. — 2012. — Vol. 53. — Is. 3. — Pp. 465–472.
8. Кузнецов А. Л. Имитационное моделирование как инструмент расчета наземных контейнерных терминалов / А. Л. Кузнецов, А. В. Кириченко, А. С. Ткаченко, Г. Б. Попов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. — 2018. — № 1. — С. 100–108. DOI: 10.24143/2073-1574-2018-1-100-108.
9. Port development. A handbook for planners in developing countries. — New York: UNCTAD, 1985. — 228 p.
10. Ricci A. On the reliability of the 3D steady RANS approach in predicting microscale wind conditions in seaport areas: The case of the IJmuiden sea lock / A. Ricci, B. Blocken // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. — 2020. — Vol. 207. — P. 104437.

REFERENCES

1. Andreeva, L. A., Kuznecov, A. L., Sampiev, A. M. and Semenov, A. D. “Zadachi sovershenstvovaniya metodov tekhnologicheskogo proektirovaniya morskikh torgovykh portov v novykh usloviyakh.” *Transportnoe delo Rossii* 1 (2024): 164–166.
2. Kuznecov, A.L. and Pogodin, V.A. “O nesovershenstve normativnoj bazy tekhnologicheskogo proektirovaniya morskikh portov.” *Morskie porty Rossii* 6 (2017): 18.
3. Sampiev, A. M. “Primenenie metoda Monte-Karlo dlya ocenki effektivnosti ispol'zovaniya byudzheta rabocheho vremeni morskogo terminala.” *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S. O. Makarova* 11.1 (2019): 68–77. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-1-68-77.

4. Valkova, S.S. and Vasil'ev, Yu.I. "Metodika ocenki sklada morskogo porta metodami imitacionnogo modelirovaniya." *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S. O. Makarova* 11.3 (2019): 485–498. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-3-485-498.
5. Kuznecov, A. L., Kirichenko, A. V., Pogodin, V. A. and SHCHerbakova-Slyusarenko, V. N. "Rol' imitacionnogo modelirovaniya v tekhnologicheskoy proektirovani i ocenke parametrov gruzovyh terminalov." *Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya* 2 (2017): 93–102. DOI: 10.24143/2073-1574-2017-2-93-102.
6. Tsao, Yu-Chung, and Vo-Van Thanh. "A multi-objective mixed robust possibilistic flexible programming approach for sustainable seaport-dry port network design under an uncertain environment." *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 124 (2019): 13–39.
7. Douma, A. M., Jos van Hillegersberg, and P. C. Schuur. "Design and evaluation of a simulation game to introduce a multi-agent system for barge handling in a seaport." *Decision support systems* 53.3 (2012): 465–472.
8. Kuznecov, A. L., Kirichenko, A. V., Tkachenko, A. S., Popov G. B. "Imitacionnoe modelirovanie kak instrument rascheta nazemnykh kontejnernykh terminalov." *Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya* 1 (2018): 100–108. DOI: 10.24143/2073-1574-2018-1-100-108.
9. *Port development. A handbook for planners in developing countries.* New York: UNCTAD, 1985.
10. Ricci, A., and B. Blocken. "On the reliability of the 3D steady RANS approach in predicting microscale wind conditions in seaport areas: The case of the IJmuiden sea lock." *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 207 (2020): 104437.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Кузнецов Александр Львович —

д. т. н, профессор,
ФГОБУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, г. Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7
e-mail: thunder1950@yandex.ru

Чистотин Олег Александрович — руководитель
департамента «Стакеры, реклаймеры»

АО «НПО «Аконит»
160004, г. Вологда, м-н Верхний Посад,
Ударников, 34, 1-й этаж
e-mail: chistotin_oa@npoakonit.ru

Затолокина Марина Юрьевна —

аспирант
ФГОБУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, г. Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7
e-mail: marina.zatolokina7@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Kuznetsov Alexander Lvovitch —

HbDr, professor,
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya str, St. Petersburg, Russia, 198035
e-mail: thunder1950@yandex.ru

Chistotin Oleg Alexandrovich —
department chief

АО "NPO "Akoni"
314 Udarnikov str, Vologda,
Russia, 160004
e-mail: chistotin_oa@npoakonit.ru

Zatolokina Marina Yuerjevna,

PhD student
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya str, St. Petersburg, Russia, 198035
e-mail: marina.zatolokina7@gmail.com

Статья поступила в редакцию 27 сентября 2024

Received: September 27, 2024