

ВОДНЫЕ ПУТИ СООБЩЕНИЯ И ГИДРОГРАФИЯ

DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-6-1217-1226

THE INFLUENCE OF THE BERTH LINE CONFIGURATION ON THE SEAPORT PERFORMANCE

A. L. Kuznetsov, G. B. Popov

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

Current seaport and cargo terminal simulation projects allow to estimate the influence that a large number of quantitative factors has on seaports' PPIs (Port Performance Indicators). However, the influence of many qualitative and structural factors, which are hard or impossible to be evaluated, is not clearly expressed in such research projects. The simulation modelling method is considered to be the most suitable for such research. This paper considers the problem of evaluation of the topologically justified mooring restrictions influence on seaport's cargo-handling processes and overall effectiveness. A quantitative evaluation of a seaport's PPIs decrease under conditions of inconvenient berths' disposition is presented. Two options of berth outline is considered: basin and frontal. These options are chosen in accordance with current governing documentation. Port performance evaluation method, based on standard PPIs, is considered. The method uses a ratio based on berth usage for cargo handling operations and total berth usage to evaluate berth usage efficiency. Model animation is recognized as an important method of logical processes visualization. The results of a series of experiments, showing significant influence of a berth line configuration on seaport performance, are reported. Analysis of the collected data allows for the conclusion that seaport's cargo handling capacity drops drastically in response to the berth line configuration shift. It is recognized that the berth line configuration choice is due to many factors, which includes constrained site conditions. It is important, however, to consider the berth line configuration influence on the seaport's PPIs, using the option, allowing to organize the vessel traffic in the most convenient way.

Keywords: simulation modelling, berth line configuration, seaport cargo terminal.

For citation:

Kuznetsov, Aleksander L., and German B. Popov. "The influence of the berth line configuration on the seaport performance." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 9.6 (2017): 1217–1226. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-6-1217-1226.

УДК: 656.6

ВЛИЯНИЕ НАЧЕРТАНИЯ ПРИЧАЛЬНОЙ ЛИНИИ НА ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ МОРСКОГО ПОРТА

А. А. Кузнецов, Г. Б. Попов

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

Современные разработки в области имитационного моделирования портов и грузовых терминалов позволяют определить влияние множества количественных факторов на показатели эффективности работы морского порта. Однако влияние качественных и структурных факторов, не поддающихся численному выражению, на работу порта в таких работах отражено неявно. Для исследования влияния такого рода факторов наиболее подходит метод имитационного моделирования. В данном исследовании рассматривается проблема оценки влияния ограничений на возможность постановки судна к причалу, вызванная топологическими особенностями местности и, соответственно, на работу порта в целом. Приводится количественная оценка снижения показателей эффективности работы порта при неудобном для постановки и отхода судов расположении причалов. В соответствии с нормативными документами принято два варианта начертания причальной стенки из трех возможных: фронтальный и ковшовый. Предлагается метод оценки работы порта, основанный на стандартных показателях эффективности работы порта. В пред-

ложеном методе используется отношение коэффициента занятости причала только под грузовыми работами к коэффициенту полной занятости причала для оценки эффективности работы причального фронта. Отмечается важность разработки анимированной составляющей модели как способа визуализации логических процессов. Приводятся результаты серии экспериментов, позволяющие сделать вывод о значительном влиянии начертания причальной линии на работу морского порта. Анализ полученных данных свидетельствует о кардинальном снижении пропускной способности морского порта при переходе с одной формы начертания причальной стенки на другую. Отмечается, что при выборе конфигурации причальной стенки играют роль множество факторов, в том числе и стесненные территориальные условия. Однако необходимо также учитывать влияние формы причальной линии на дальнейшие показатели работы порта, используя вариант, позволяющий организовать движение судов наиболее удобным способом.

Ключевые слова: имитационное моделирование, начертание причальной стенки, морской грузовой терминал.

Для цитирования:

Кузнецов А. Л. Влияние начертания причальной линии на показатели эффективности работы морского порта / А. Л. Кузнецов, Г. Б. Попов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2017. — Т. 9. — № 6. — С. 1217–1226. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-6-1217-1226.

Введение (Introduction)

В течение нескольких десятилетий метод имитационного моделирования зарекомендовал себя как эффективный способ исследования влияния различных факторов на транспортные системы [1], [2]. Многие существующие модели отражают обширный комплекс факторов, оказывающих влияние на показатели портовой эффективности [3] – [6]. В приведенных исследованиях среди прочих учитывается влияние следующих факторов: внутренней инфраструктуры терминала, расстояний между отдельными грузовыми районами, условий внутрипортового и внешнего трафика, работы таможенных и пограничных органов и т. д. При этом очевидно, что «узкие места», связанные как с недостатком перегрузочных мощностей, так и с нерационально организованными процессами, негативно отражаются на работе порта в целом. Однако в ранее проведенных исследованиях зачастую не отражены конкретные количественные взаимосвязи между конфигурацией морского грузового фронта порта и показателями эффективности его работы. В данном исследовании ставится задача обоснования зависимости длины очереди на рейде морского порта от конфигурации причальной стенки. В рамках данной статьи рассмотрены два варианта начертания причального фронта: *фронтальный* и *ковшовый*. Среди показателей эффективности работы морского порта выбраны показатели длины очереди судов на рейде порта и коэффициент занятости причала.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Для решения поставленной задачи был применен метод имитационного моделирования. Средством разработки модели выбрано приложение AnyLogic (USB-ключ #00559). Построена имитационная модель системы, состоящая из пяти причалов. Варианты начертания причальной линии, используемые в процессе моделирования, представлены на рис. 1.

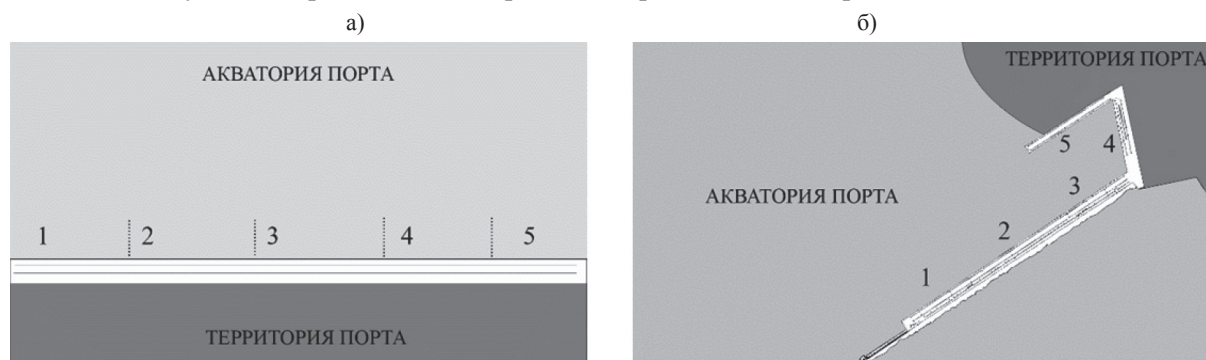


Рис. 1. Начертание причальной линии, использованное при моделировании:

а — фронтальное; б — ковшовое

При конфигурации причальной линии, изображенной на рис. 1, а, постановка судов к любому из пяти причалов не может быть затруднена даже в случае, когда все соседние причалы заняты. В случае, показанном на рис. 1, б, суда, пришвартованные к причалу № 4, не смогут покинуть его до тех пор, пока причалы № 3, 5 и 2 заняты, из-за невозможности работы буксиров. Также суда не смогут пришвартоваться к данному причалу, если указанные ранее причалы заняты, по тем же причинам.

Рассмотрим основные составляющие имитационной модели, базирующейся на описанных принципах.

Логическая структура модели. В процессе разработки модели была спроектирована логическая структура, упрощенно представленная на рис. 2.

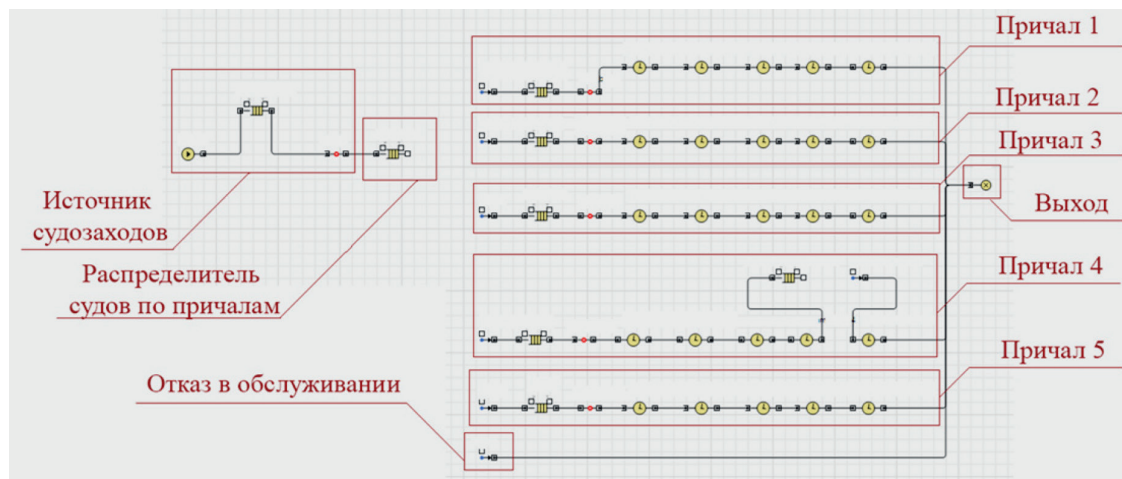


Рис. 2. Упрощенная логическая структура модели

Приведенная логическая структура модели состоит из следующих элементов:

- элемента-источника входящего потока судов;
- элемента-распределителя входящего потока по причалам на основе прогнозируемой занятости причала;
- элементов, определяющих поведение отдельных причалов морского грузового фронта;
- элемента, удаляющего из системы суда, которым отказано в обслуживании;
- элемента выхода из системы.

Предполагается, что входящий поток представлен трамповыми судами. Это означает, что судозаходы осуществляются без фиксированного расписания, а интервал между заходами судов является случайной величиной. Судозаходы генерируются в элементе-источнике с интервалом, распределенным по закону Эрланга 2-го порядка [7].

Линейные размеры судна, дедвейт и размер грузовой партии на борту генерируются случайно в заданных пределах в элементе-источнике. Время стоянки судна в порту складывается из времени, затрачиваемого на погрузочно-разгрузочные работы (ПРР), швартовку и отшвартовку судна, оформление документов до и после грузовых операций. Среднее время, необходимое для выполнения вспомогательных операций, совершаемых в порту, принимается в соответствии с РД 31.3.01.01-93 в зависимости от размера заходящего судна [8]. Моделируемый период равен одному календарному году.

Оценка занятости причалов. Необходимо отметить, что в данном исследовании каждый причал рассматривается дискретно, т. е. как отдельный причальный модуль. Оценка показателя занятости причалов осуществляется на основе коэффициентов занятости [9]. Для выявления природы занятости причала в каждый момент времени коэффициент разделен на два значения: коэффициент занятости причала непосредственно под ПРР (1) и полный коэффициент, рассчитываемый на основе общего времени стоянки судна у причала (2).

Коэффициент занятости причала непосредственно под ПРР определяется по формуле

$$k_{\text{зан}}^{\text{ПРР}} = \frac{t_{\text{зан}}^{\text{ПРР}}}{T}, \quad (1)$$

где $t_{\text{зан}}^{\text{ПРР}}$ — время, затраченное на проведение ПРР на причале; T — время работы модели.

Полный коэффициент $k_{\text{зан}}$, рассчитываемый на основе общего времени стоянки судна у причала, определяется в виде

$$k_{\text{зан}} = \frac{t_{\text{зан}}}{T}, \quad (2)$$

где $t_{\text{зан}}$ — время занятости причала; T — время работы модели.

Коэффициент $k_{\text{зан}}^{\text{ПРР}}$ рассчитывается только во время проведения ПРР на причале. В него не входят вспомогательные операции постановки судна к причалу, швартовки, отшвартовки, оформления документов при заходе и выходе судна из порта, простои судна и т. д.

Подсчет коэффициента $k_{\text{зан}}$ осуществляется с момента начала швартовных операций и до момента окончания отшвартовки и отхода судна от причала. В течение всего времени между двумя этими событиями причал считается занятым судном.

Используя данные коэффициенты, имеется возможность определить *эффективность работы причала* η как отношение полезной работы, выполненной на причале (ПРР), к общему времени занятости причала:

$$\eta = \frac{k_{\text{зан}}^{\text{ПРР}}}{k_{\text{зан}}}. \quad (3)$$

Сравнивая коэффициенты η для одних и тех же причалов при фронтальном и ковшовом расположении, можно определить, насколько один вариант расположения эффективнее другого при прочих равных условиях.

Оценка длины очереди судов на рейде порта. Распределение судов по причалам в порту осуществляется, исходя из расчета ожидаемого времени обработки судна у каждого причала, с учетом характеристик механизации причала. Механизация причала представлена определенным количеством механизированных линий, состоящих из заранее определенного перегрузочного оборудования. Отдельные участки причальной стенки могут не располагать механизированными линиями в связи с их занятостью с помощью выделения этих линий на других участках грузового фронта. В этом случае данный причальный модуль не может заниматься обработкой грузов, постановка судов к нему не осуществляется, а его производительность считается равной нулю.

Приведенный механизм определяет скорость обработки судов у причала, что оказывает влияние на длину очереди на рейде порта. Разместив одинаковое оборудование на соответствующих причалах в случае фронтального и ковшового расположения, имеется возможность сравнить влияние изменения начертания причальной линии на длину очереди судов на рейде морского порта.

Анимация. В отличие от алгоритмических методов программирования, имитационное моделирование носит объектно-ориентированный характер, предполагающий неуправляемое взаимодействие всех элементов системы через установленные связи между ними. Это означает, что отладка модели и проверка её адекватности не может быть осуществлена при помощи детерминированных математических вычислений. В этой ситуации важной составляющей имитационной модели является анимация.

Как известно, анимация программно управляется логической структурой модели [10] — рис. 3. Однако при этом анимационная составляющая играет существенную роль в процессах отладки и калибровки логической составляющей, а именно:

- позволяет выявить явные логические противоречия в моделируемых процессах;
- позволяет проследить корректность изменения и использования переменных;
- позволяет скорректировать значения временных затраты на перемещения грузов, оборудования, техники, судов и т. д.



Рис. 3. Взаимное влияние логической структуры и анимации модели

Как показывают исследования [11], визуализация оказывает значительное влияние на процессы восприятия пользователем информации. Отсутствие анимации как инструмента визуализации усложняет поиск логических и структурных ошибок в работе модели, что может привести к получению некорректных результатов. Важно отметить, что в современном моделировании анимационная составляющая ориентирована в равной степени как на конечного пользователя, так и на непосредственного разработчика модели по причинам, указанным ранее. В связи с этим при проектировании модели было принято решение о необходимости включения механизма визуализации исследуемых процессов.

На рис. 4 приведен пример окна анимации для ковшового начертания причальной линии. В анимации модели выводится окно статуса причалов, в котором отражена завершенность процесса ПРР и возможность постановки и отхода судов от причалов. Из рисунка видно, что судно, поставленное к причалу № 4, не имеет возможности отойти от него из-за занятости причала № 5 и поэтому вынуждено простаивать. Представленная анимация в формате .gif также доступна по ссылке: <https://journal.gumrf.ru/files/upload/art/9-6-1KP.gif>.

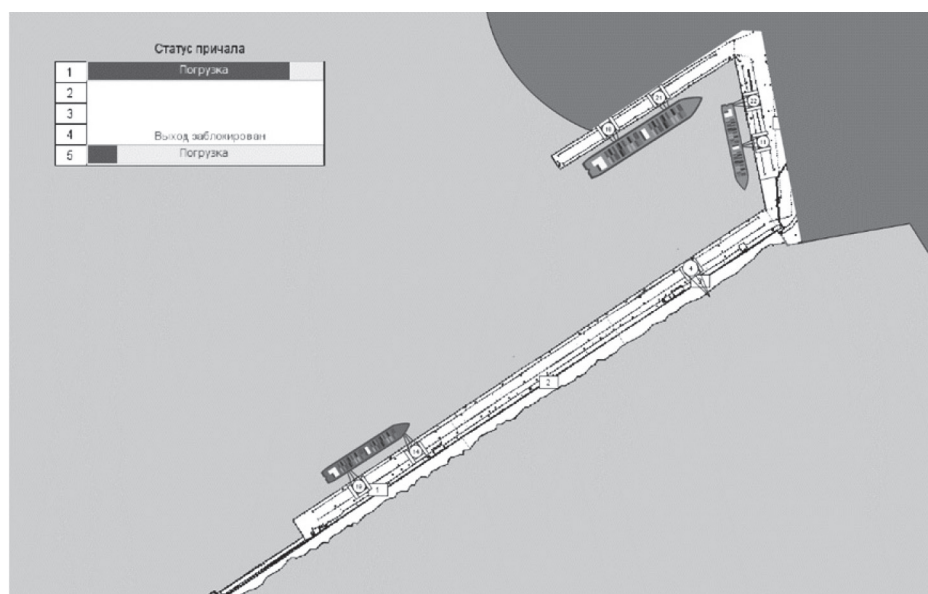
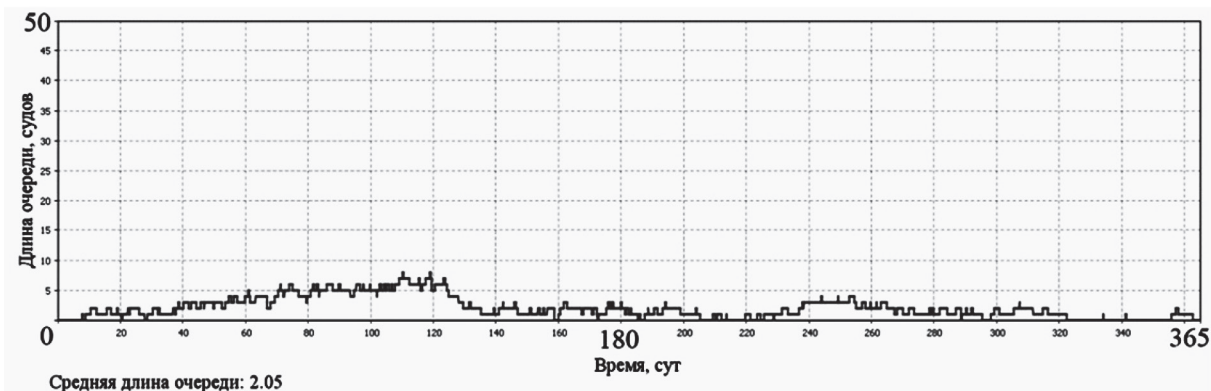


Рис. 4. Пример окна анимации модели

Результаты (Results)

В модели для оценки динамики поведения длины очереди на рейде предусмотрено построение временного графика колебаний длины очереди и гистограммы плотности распределения длины очереди в пределах одного прогона модели. Примеры графиков и гистограмм приведены на рис. 5 и 6. На рис. 6 показана плотность распределения длины очереди судов только при фронтальном начертании, соответствующем рис. 5, а, поскольку в примере, представленном на рис. 5, б, очередь судов на рейде морского порта растет неограниченно, и построение гистограммы для такого случая бессмысленно.

а)



б)

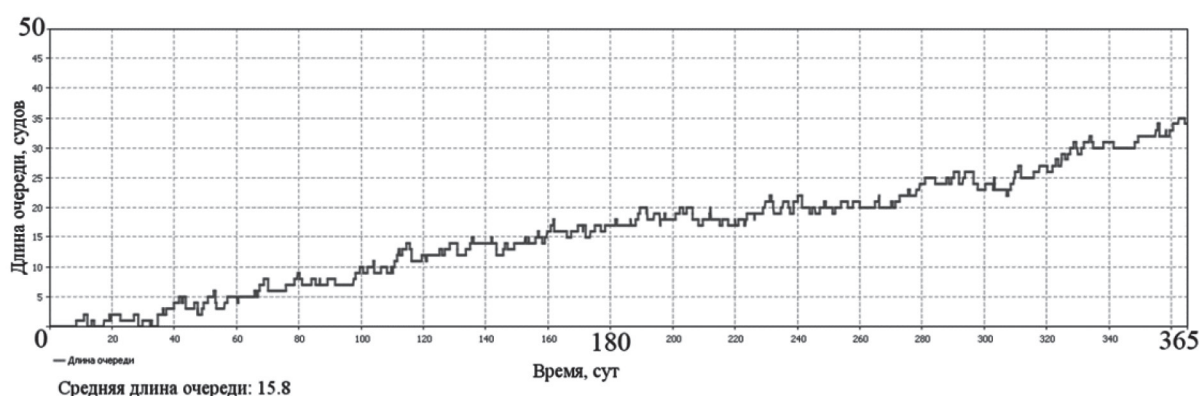


Рис. 5. График изменения длины очереди в течение расчетного периода:

а — при фронтальном начертании; б — при ковшовом начертании

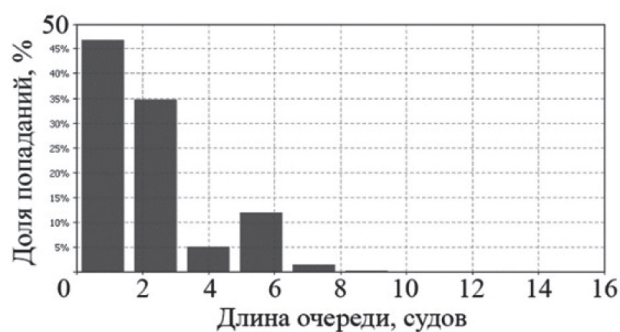


Рис. 6. Плотность распределения длины очереди судов при фронтальном начертании

Также для оценки колебаний значения коэффициентов полной занятости и занятости под ПРР каждого из причалов в течение прогона модели строятся соответствующие временные графики. Поскольку рассмотрение среднего значения коэффициентов занятости по всем причалам не способно корректно отразить влияние ограничений на работу перегрузочного комплекса, изменение данных коэффициентов оценивается отдельно по каждому причалу. Наиболее интересным с этой точки зрения является причал № 4, на деятельность которого оказывают влияние ограничения, накладываемые топологическими особенностями конфигурации порта.

На основе представленных статистических инструментов набора AnyLogic (USB-ключ #00559) возможно получение необходимых данных по показателям эффективности работы морского порта. С этой целью была проведена серия, состоящая из ста экспериментов, для каждо-

го из вариантов расположения причальной линии. Полученные данные показали, что изменение только начертания причальной линии с фронтальной на ковшовую увеличивает длину очереди на рейде морского порта в среднем в 15,1 раз. Кроме того, при ковшовом расположении причалов в 92 % случаев наблюдается неограниченный рост длины очереди, аналогичный приведенному на рис. 5, б, что свидетельствует о том, что морской грузовой фронт не способен справиться с входящим потоком заявок. Эффективность работы η причала № 4 при этом снизилась в среднем в 2,2 раза. Результаты серии экспериментов представлены на рис. 7.

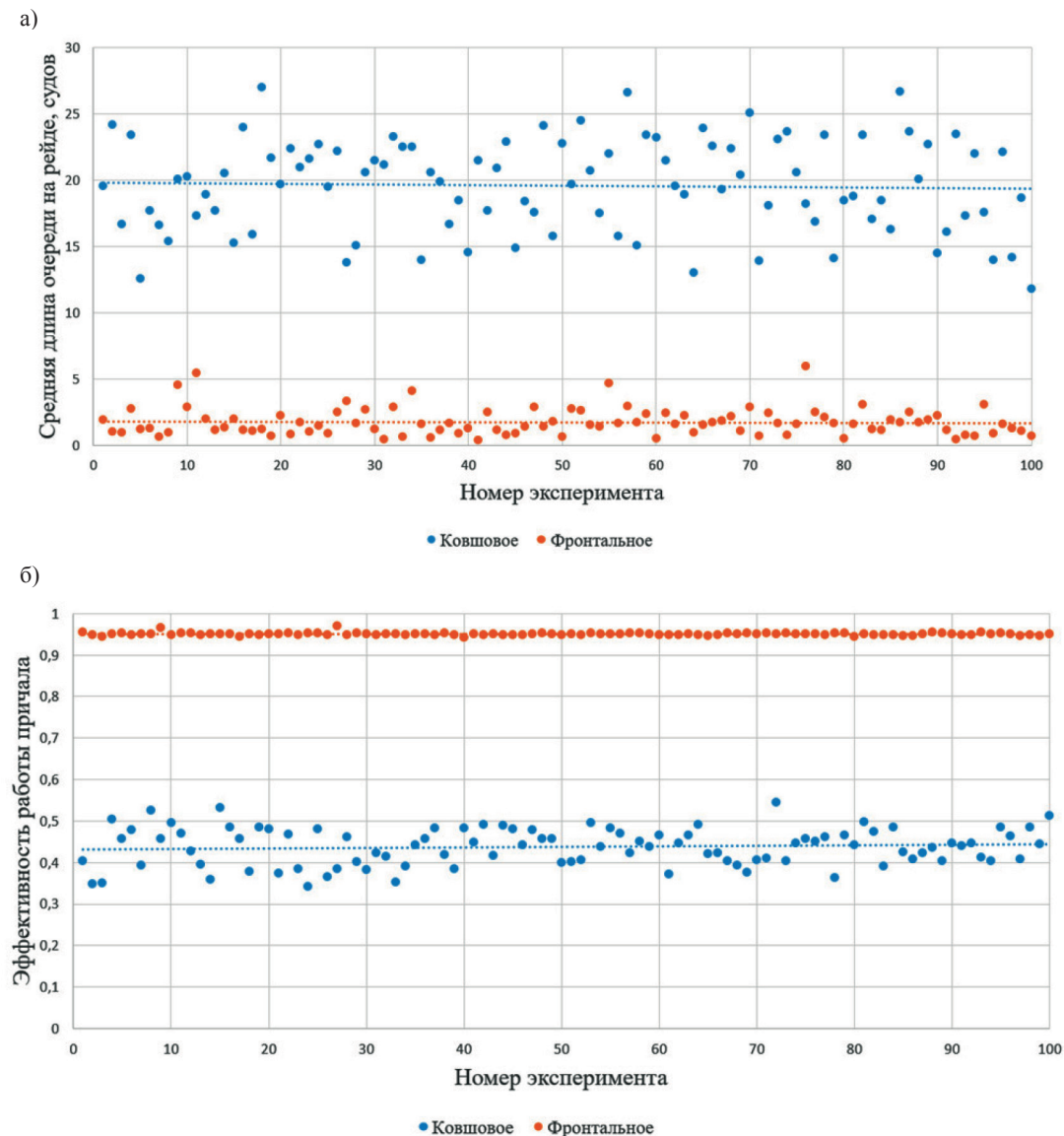


Рис. 7. Результаты серии экспериментов с моделью:

а — среднее значение длины очереди на рейде; б — значение эффективности работы причала

Данные, полученные на основе проведенной серии экспериментов, были проанализированы методами математической статистики. Результаты анализа представлены в следующей таблице:

Среднеквадратическое отклонение показателей работы порта

Исследуемые показатели	Среднеквадратическое отклонение	
	Фронтальное	Ковшовое
Средняя длина очереди судов	1,0451	3,5016
η (для причала № 4)	0,0034	0,0448

Обсуждение (Discussion)

Результаты серии экспериментов на модели показали существенное влияние начертания причальной стенки на показатели работы морского порта. В первую очередь, это отражается на длине очереди судов на рейде порта, демонстрирующей высокую чувствительность к форме причального фронта. Система перегрузочного комплекса переходит из состояния устойчивого равновесия (см. рис. 5, а) в состояние неограниченного роста очереди (см. рис. 5, б) при остальных равных условиях. Данная ситуация свидетельствует о неспособности порта справиться с обработкой одинакового входящего грузопотока при введении дополнительных ограничений, связанных с топологическими особенностями.

Как видно из рис. 7, а, значение длины очереди на рейде морского порта при ковшовом расположении причалов имеет значительно больший разброс, чем при фронтальном. Отсюда можно сделать вывод о том, что помимо увеличения длины очереди на рейде в среднем в 15 раз при изменении начертания причальной линии наблюдается рост и непредсказуемость поведения системы морского грузового фронта. Следовательно, не только факт задержки подхода и отхода судов от причала № 4, «зажатого» между причалами № 3 и 5, но и ее период носят стохастический характер. Это обуславливает затруднения при прогнозировании показателей эффективности работы морского порта.

Из рис. 7, б видно, что значение η для причала № 4 является близким к единице и практически неизменным из опыта в опыт при фронтальном начертании причальной линии. Для такого варианта расположения причалов оно в среднем составило 0,95. Это означает, что 95 % времени занятости причала составляет «полезная» занятость, т. е. занятость причала под ПРР. Такое значение коэффициента η позволяет судить о высокой эффективности работы выбранного причала при фронтальном расположении причальной стенки. Однако при ковшовом варианте начертания причальной линии значение η для причала № 4 значительно ниже и составляет в среднем 0,4374, что более чем в 2 раза ниже эффективности этого же причала при фронтальном расположении. Это означает, что занятость причала грузовыми операциями составляет меньше половины времени общей занятости причала, следовательно, половину времени занятости причал № 4, не способный принимать новые суда и при этом занятый текущим судном, простаивает. Кроме того, эффективность работы этого причала также имеет значительно больший разброс при ковшовом начертании, в отличие от фронтального, что свидетельствует о большой степени непредсказуемости поведения перегрузочной системы морского грузового фронта.

Заключение (Conclusion)

Вопрос влияния формы причальной стенки на показатели эффективности работы морского порта имеет важность, в первую очередь, при проектировании и строительстве новых грузовых площадок и терминалов. В данном исследовании решена задача количественной оценки влияния внутренней структуры морского порта на показатели эффективности его работы. Очевидно, что при проектировании морского грузового терминала учитывается множество различных факторов, которые зачастую диктуют необходимость выбора определенной формы причальной стенки. Однако важно учитывать последствия от выбора конкретной конфигурации и при возможности выбирать вариант, наиболее удобный для организации судоходства в порту.

На основании полученных результатов сделаны следующие выводы.

1. Предложен инструмент оценки влияния начертания причальной линии на показатели эффективности работы морского грузового фронта порта, разработанный при помощи метода имитационного моделирования.
2. Ограничения, накладываемые неудобной конфигурацией причальной стенки, могут оказать существенное влияние на работу морского порта в целом. Эти ограничения не только снижают эффективность работы морского грузового фронта, но и влияют на возможность управления портовыми процессами, снижая их степень предсказуемости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sun Z. MicroPort: A general simulation platform for seaport container terminals / Z. Sun, L. H. Lee, E. P. Chew, K. C. Tan // *Advanced Engineering Informatics*. — 2012. — Vol. 26. — Is. 1. — Pp. 80–89. DOI: 10.1016/j.aei.2011.08.010.
2. Howard D. L. PORTSIM 5: Modeling from a seaport level / D. L. Howard, M. J. Bragen, J. F. Burke Jr., R. J. Love // *Mathematical and Computer Modelling*. — 2004. — Vol. 39. — Is. 6–8. — Pp. 715–731. DOI: 10.1016/S0895-7177(04)90550-X.
3. Кузнецов А. Л. Базовая модель логистических потоков через контейнерный терминал / А. Л. Кузнецов, Е. Ю. Козлова // *Эксплуатация морского транспорта*. — 2008. — № 2. — С. 18–20.
4. Кузнецов А. Л. Моделирование сетей контейнерного грузораспределения / А. Л. Кузнецов, С. С. Павленко, В. Н. Щербакова-Слюсаренко // *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова*. — 2015. — № 5 (33). — С. 33–42. DOI: 10.21821/2309-5180-2015-7-5-33-42.
5. Попов Г. Б. Моделирование ворот морского терминала со стороны автомобильного грузового фронта / Г. Б. Попов // *Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова*. — 2017. — Т. 9. — № 2. — С. 296–305. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-2-296-305.
6. Özkan E. D. Capacity analysis of RO-RO terminals by using simulation modeling method / E. D. Özkan, S. Nas, N. Güler // *The Asian Journal of Shipping and Logistics*. — 2016. — Vol. 32. — Is. 3. — Pp. 139–147. DOI: 10.1016/j.ajsl.2016.09.002.
7. Measuring and evaluating port performance and productivity. — Geneva: UNCTAD, 1987. — 59 p.
8. РД 31.3.01.01-93. Руководство по технологическому проектированию морских портов. Ч. I. — М.: Союзморниипроект, 1993. — 187 с.
9. Port performance indicators. — Geneva: UNCTAD, 1978. — 24 p.
10. Ermel C. Behavior-Preserving Simulation-to-Animation Model and Rule Transformations / C. Ermel, H. Ehrig // *Electronic Notes in Theoretical Computer Science*. — 2008. — Vol. 213. — Is. 1. — Pp. 55–74. DOI: 10.1016/j.entcs.2008.04.074.
11. Shi N. Effects of visualizing roles of variables with animation and IDE in novice program construction / N. Shi, Z. Min, P. Zhang // *Telematics and Informatics*. — 2017. — Vol. 34. — Is. 5. — Pp. 743–754. DOI: 10.1016/j.tele.2017.02.005.

REFERENCES

1. Sun, Z., L. H. Lee, E. P. Chew, and K. C. Tan. “A general simulation platform for seaport container terminals.” *Advanced Engineering Informatics* 1(26) (2012): 80–89. DOI: 10.1016/j.aei.2011.08.010.
2. Howard, D. L., M. J. Bragen, J. F. Burke Jr., and R. J. Love. “PORTSIM 5: Modeling from a seaport level.” *Mathematical and computer modelling* 39.6-8 (2004): 715–731. DOI: 10.1016/S0895-7177(04)90550-X.
3. Kuznetsov, A. L., and E. Yu. Kozlova. “Base model of logistical flows through container terminal.” *Jek-spluatacija morskogo transporta* 2 (2008): 18–20.
4. Kuznetsov, Alexander Lvovitch, Sergei Sergeyevich Pavlenko, and Victoria Nickolaevna Scherbackova-Slysarenko. “Container distribution networks modeling.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 5(33) (2015): 33–42.
5. Popov, German B. “Modelling of marine terminal gate on the side of road transport.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 9.2 (2017): 296–305. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-2-296-305.
6. Özkan, Emin Deniz, Selçuk Nas, and Nil Güler. “Capacity Analysis of Ro-Ro Terminals by Using Simulation Modeling Method.” *The Asian Journal of Shipping and Logistics* 32.3 (2016): 139–147. DOI: 10.1016/j.ajsl.2016.09.002.
7. *Measuring and evaluating port performance and productivity*. Geneva: UNCTAD, 1987.
8. Russian Federation. Guidance document RD 31.3.01.01-93. Guide to Design of Seaports. M.: Soyuzmor-NIIproekt, 1993.
9. *Port performance indicators*. Geneva: UNCTAD, 1978.

10. Ermel, Claudia, and Hartmut Ehrig. "Behavior-Preserving Simulation-to-Animation Model and Rule Transformations." *Electronic Notes in Theoretical Computer Science* 213.1 (2008): 55–74. DOI: 10.1016/j.entcs.2008.04.074.

11. Shi, Nianfeng, Zhiyu Min, and Ping Zhang. "Effects of visualizing roles of variables with animation and IDE in novice program construction." *Telematics and Informatics* 34.5 (2017): 743–754. DOI: 10.1016/j.tele.2017.02.005.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Кузнецов Александр Львович —

доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»

198035, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7

e-mail: thunder1950@yandex.ru, kaf_pgt@gumrf.ru

Попов Герман Борисович — аспирант

Научный руководитель:

Кузнецов Александр Львович

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»

198035, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7

e-mail: german_bp@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

Popov, German B. — Postgraduate

Supervisor:

Kuznetsov, Aleksandr L.

Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping

5/7 Dvinskaya Str, St. Petersburg, 198035,
Russian Federation

e-mail: german_bp@mail.ru

Статья поступила в редакцию 26 октября 2017 г.

Received: October 26, 2017.