

DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-1-20-29

## **SIMULATION OF STATES OF THE MARINE TERMINAL ON THE BASIS OF DISCRETIZATION OF PROCESSES**

**N. N. Maiorov**

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation,  
St. Petersburg, Russian Federation

*The paper offers the proposals for studying the states of achieving the required levels of ports and terminals depending on the influence of the external environment. The relevance of this is justified by the performed analysis of the indicators and the use in the statistical information of a set of data characterizing the different operating states of the terminal. The basis of the proposals is the statement about the uneven load of individual sections of ports and, as a consequence, the necessity to select the states of their operation and perform their further analysis using discretization processes. Based on the model and subsequent analysis, the decision-maker can more accurately determine the reasons for failure to achieve certain port and terminal performance. This approach is based on Kotel'nikov's theorem for finding discrete states for any given sequence of states. The data on the work of the passenger port "Morskoy Fasad" were used to verify the data. The proposed approach to the study of states will be useful both at the stage of a feasibility study, both as a definition of the criteria for achieving the required level, and in the process of operational monitoring. The conducted research can additionally be used to generate a sample of certain discrete values for the subsequent analysis. With this approach, the operation of the port system is represented as a set of discrete values corresponding to certain levels. The decision maker forms a different set of relationships between the desired states of the development of the port system and the conditions for achieving them, and only after carrying out the analysis proposed in the article can additional adjustments be made to the objective functions of the port systems. The accuracy of this model is justified in the article and it is proposed to supplement the model with a probability function that describes the influence of the external environment. The proposed model can be used both as a separate state analysis tool and used in parallel with performing operational simulation of the terminal operation.*

*Keywords: performance indicators, port states, discretization, forecasting, finding the states of the system.*

### **For citation:**

Maiorov, Nikolai N. "Simulation of states of the marine terminal on the basis of discretization of processes." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 10.1 (2018): 20–29. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-1-20-29.

**УДК 65.012.1, 656.072**

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЙ МОРСКОГО ТЕРМИНАЛА НА ОСНОВЕ ДИСКРЕТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ**

**Н. Н. Майоров**

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

*Статья содержит предложения по исследованию состояний достижения необходимых уровней портов и терминалов в зависимости от влияния внешней среды. Актуальность этого обоснована выполненным анализом показателей и использованием в статистической информации набора данных, характеризующих различные состояния работы терминала. Основу предложений составляет утверждение о неравномерности загрузки отдельных участков портов и, как следствие, необходимостью проведения отбора состояний их работы и выполнения дальнейшего анализа с использованием процессов дискретизации. На основе приведенной модели и последующего анализа лица, принимающего решение, может более точно определять причины недостижения определенных показателей работы портов и терминалов. В основе данного подхода предлагается использовать теорему Котельникова для нахождения дискретных состояний при любой имеющейся последовательности состояний. В качестве проверки данных использованы данные по работе пассажирского порта «Морской фасад». Предлагаемый подход к исследованию*

*состояний будет полезен как на стадии технико-экономического обоснования в качестве определения критериев достижения требуемого уровня, так и в процессе операционного мониторинга. Проведенное исследование дополнительно можно использовать для формирования выборки определенных дискретных значений при проведении последующего анализа. При таком подходе работа портовой системы представляется в виде совокупности дискретных значений, соответствующих определенным уровням. Лицо, принимающее решение, формирует различный набор связей между желаемыми состояниями развития портовой системы и условиями их достижения и только после проведения предлагаемого в статье анализа может внести дополнительные корректировки в целевые функции портовых систем. В статье обосновывается точность данной модели и предлагается дополнить ее вероятностной функцией, описывающей влияние внешней среды. Предлагаемая модель может использоваться как в виде отдельного инструмента анализа состояний, так и параллельно с выполнением операционного моделирования работы терминала.*

*Ключевые слова: показатели производительности, состояния порта, дискретизация, прогнозирование, нахождение состояний портовой системы.*

**Для цитирования:**

Майоров Н. Н. Моделирование состояний морского терминала на основе дискретизации процессов / Н. Н. Майоров // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2018. — Т. 10. — № 1. — С. 20–29. DOI: 10.21821/2309-5180-2018-10-1-20-29.

### **Введение (Introduction)**

Среди множества логистических задач, рассматриваемых при организации систем, всегда присутствует задача выработки стратегии достижения наилучших показателей и соответствующих им состояний системы. Таким результатом может быть достижение либо максимально возможного (с учетом возможностей инфраструктуры) объема грузопотока, либо пассажиропотока, либо вообще достижение наибольшего развития инфраструктуры порта или терминала, позволяющей обработать увеличивающийся грузо- или пассажиропоток.

Состояние транспортной системы в каждый момент времени можно описать с помощью некоторого множества переменных параметров. К примеру, статистическая информация по работе терминала часто представляется в дискретной форме, и каждое последующее значение через определенный равный интервал времени наблюдения за системой обеспечивается определенным набором параметров терминальной инфраструктуры. Количество таких параметров может быть достаточно большим в зависимости от уровня рассмотрения и детализации изучения структуры процессов.

При выполнении исследований возникает задача выбора наиболее значимых переменных и, как следствие, всегда существует вероятность потери определенных данных. В ряде источников подобные задачи решаются с использованием аппарата принятия решений в условиях неопределенности [1, с. 12]. Но так как данный метод основывается на вероятностных данных, его точное использование затруднительно. Кроме того, необходимо выделить новую возможность проведения исследования оценки достижения системой определенного заданного или планируемого состояния, а также возможность не только проанализировать работу в прошлом за определенный интервал времени, но и решить задачу прогноза развития. В связи с этим возникает вопрос: *можно ли достичь более лучших состояний системы при имеющихся параметрах инфраструктуры?* При этом нет прямой необходимости основываться на методах линейной оптимизации системы. Оптимизация позволяет выявить наиболее важные переменные и их взаимосвязи. Классические методы оптимизации применительно к рассматриваемой задаче будут использоваться уже после проведения анализа на возможные наилучшие состояния системы. Дискретный характер большинства переменных не позволяет применять классические методы функционального анализа, но при этом и перебор различных вариантов состояний системы не обеспечивает точности принятия решений. Сложность при изучении состояний портовых систем обусловлена также наличием таких условий, как сезонность и периодичность. В данном случае необходимо сформулировать условия исключений для анализа состояний системы либо добавить новые переменные для обеспечения условий сезонности.

В данном случае классическое применение моделей на основании уравнений Колмогорова [2], описывающих предельные вероятности состояний переходов для объектов системы, не могут применяться, так как в результате их использования не удастся получить точные значения состояний системы. Данные модели основываются на переходе системы из одного состояния в другое, но в данном случае состояние системы не меняется. Изменяемым параметром служат переменные, характеризующие инфраструктуру порта или терминала.

Целью данной статьи является обоснование применения метода и математической модели, способной решить задачу точного нахождения состояний портовой или терминальной системы по имеющимся дискретным значениям на основе применения теоремы Котельникова и проведения последующего анализа для выработки мер достижения наилучшего состояния. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: представить исходный дискретный процесс работы морского терминала, описать возможные математические модели для определения состояний и обосновать расчет уровней для достижения наилучших состояний, провести сравнение моделей и выполнить расчет с использованием теоремы Котельникова, представить алгоритм и модель принятия решений по улучшению состояния системы.

### Методы и материалы (Methods and Materials)

Известно, что рассматриваемую задачу можно решать, основываясь на формализованной геометрической интерпретации состояния и движении системы в так называемом *фазовом пространстве*  $R^n$ . Пространство состояний должно рассматриваться как дискретное, поэтому любое значение, изображающее состояние системы, не может находиться в любом месте области допустимых состояний, а только в определенных фиксированных точках этой области. Для состояний, которые зависят от переменных инфраструктуры, только дискретно можно изменить количество задействованных причалов, количество перегрузочного оборудования либо количество рамок дозора пассажиров в морском пассажирском терминале. В данном случае состояние транспортной системы в определенный момент можно представить в виде множества переменных, соотнесенных с конкретными объектами инфраструктуры в следующем виде:

$$\begin{aligned} x_0(t=0) &= \{a_{01}, a_{02}, \dots, a_{0n}\}; \\ x_1(t=1) &= \{a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1n}\}; \\ &\dots \\ x_n(t=n) &= \{a_{n1}, a_{n2}, \dots, a_{nn}\}, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $x_n(t=0, 1, \dots, n)$  — конкретные дискретные состояния транспортной системы;  $t$  — значения времени, когда производятся наблюдения или замеры по грузопереработке;  $a_{11}, \dots, a_{nn}$  — количественные переменные, отражающие число объектов транспортной инфраструктуры, которые были задействованы в процессе грузопереработки.

При рассмотрении состояний морской системы количество переменных может отличаться друг от друга. Например, в одном случае определенное состояние характеризуется загруженностью всех причалов и морских фронтов, в другом — данные могут собираться только по некоторым причалам. Невключение причалов может определяться их простым или некоторым техническим сбоем в работе оборудования. В данном случае простой вызывает издержки в работе. Как следствие, на практике, при выполнении исследования систем на макроуровне, используются суммарные значения при различных наборах переменных и это видно при отражении статистической информации о работе порта. При исследовании состояний портовой системы на микроуровне задача сводится к исследованию работы каждого причала, что может изменить общую ситуацию, полученную на макроуровне.

Для лица, принимающего решение, необходимо достижение наилучших состояний работы портовой системы как при решении оперативных вопросов, так и вопросов прогнозирования

на определенный временной интервал. Для решения данных вопросов предлагается выполнить приведенную последовательность операций:

- 1) сформировать дискретный интервал для проведения исследования из имеющихся динамических данных;
- 2) сформировать критерии выборки состояний портовой системы, характеризующейся ее наилучшими параметрами, и соотнести данные состояния с объектами инфраструктуры;
- 3) сформировать критерии выборки наихудших состояний портовой системы и соотнести полученные данные с объектами инфраструктуры;
- 4) проанализировать полученные массивы значений, используя интерполяцию, и выполнить теоретическую оценку недостающего уровня;
- 5) сформировать систему оперативного воздействия для улучшения состояний системы и проведения анализа имеющихся объектов портовой инфраструктуры.

Рассматриваемая теоретическая ситуация приведена на рис. 1. За исходные данные принят пассажиропоток морского пассажиропотока терминала «Морской фасад» с 2008 по 2017 гг. [3], [12]. В статьях [4], [5] проводятся исследования подхода к мониторингу объектов инфраструктуры и описываются инфраструктурные особенности терминала, приводится специализированная имитационная модель для прогнозирования операционной деятельности работы терминала. Необходимо отметить, что несмотря на то, что наблюдается рост уровня динамики пассажиропотока, при анализе причалов, согласно данным источника [6], выявляется неравномерность загруженности причалов. Таким образом, в общую статистику работы вошли данные по работе терминала на макроуровне, характеризующиеся различным набором состояний системы на микроуровне, т. е. различным набором причалов с их инфраструктурными особенностями. Для лица, принимающего решение, дополнительно необходимо решить следующий круг вопросов:

- вопросы организации равномерной нагрузки на причалы в течение навигации;
- вопросы исследования состояний системы, как и в случае, рассматриваемом при исследовании причин недостижения определенного уровня как в прошлом, так и при решении задач прогнозирования (см. рис. 1 для 2016 г.).

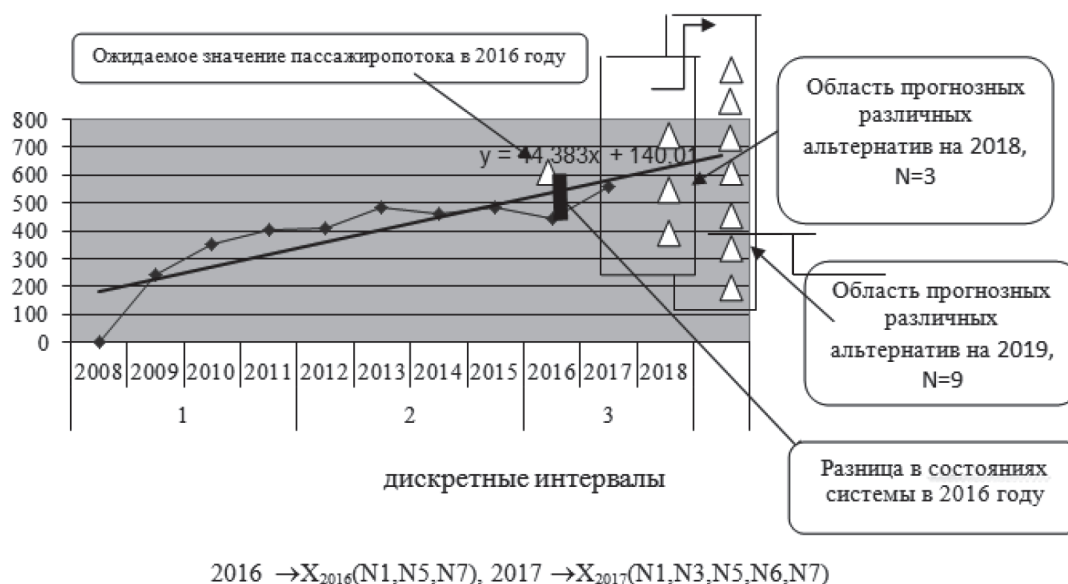


Рис. 1. Информация по пассажиропотоку 2009 – 2017 гг.: переменные состояния ( $N_i$  — причал) и вероятностные прогнозные положения состояний системы

В ряде источников (например, [7]) для расчета состояний системы необходимо определять возможные переходы состояний. Поскольку каждое состояние характеризуется определенным набором переменных инфраструктуры, для их переходов необходимо рассчитать предельные веро-

ятности. Пусть для обеспечения бесперебойной работы терминала задействовано не более  $n$  причалов. На вход системы поступает расписание заходов судов. Переходы системы представляются в форме ориентированного графа [2, с. 189]. Тогда она описывается уравнениями Колмогорова в следующем виде:

$$\begin{aligned} dp_0(t) / dt &= \mu p_1(t) - \lambda(t) p_0(t); \\ &\dots \\ dp_i(t) / dt &= \lambda(t) p_{i-1}(t) + (i+1) \mu p_{i+1}(t) - (\lambda(t) + i \mu) p_i(t) \quad (i = 1, 2, \dots, n-1); \\ &\dots \\ dp_n(t) / dt &= \lambda(t) p_{n-1}(t) - n \mu p_n(t), \end{aligned} \quad (2)$$

и граничным условием  $\sum_{i=1}^n p_i(0) = 1$ ,

где  $\lambda(t), \mu(t)$  — функция интенсивностей переходов из одного состояния в другое;  $i$  — индекс, соответствующий определенному состоянию;  $p_i(t)$  — функция вероятности состояний.

Отыскание решения системы (2) в общем виде и при произвольной функции  $\lambda(t)$  представляет значительные трудности и не имеет практического приложения. При решении различных подобных задач нужно знать характеристики изучаемого процесса  $X(t) : M[X(t)], D[X(t)]$ , а одномерный закон распределения  $p_i(t) = P\{X(t) = i\}$  является промежуточным звеном при таком подходе. Для лица, принимающего решение, необходимо иметь более точную методику и модели для расчета при имеющихся дискретных значениях системы.

#### *Использование теоремы Котельникова для нахождения непрерывных значений состояния портовой системы*

Для точного нахождения состояний системы необходимо применять теорему Котельникова [8], согласно которой любые процессы являются плавными функциями времени, скачки значений в них практически не наблюдаются. Поэтому такой процесс можно представить последовательностью его значений, взятых с некоторым шагом по времени. При малом шаге, к примеру, при непрерывном мониторинге за состояниями системы, последовательность значений точно описывает график состояний системы. При имеющихся больших интервалах наличия информации о работе системы точно восстановить график функции сложно, так как пропущены его точки экстремума.

Теорема Котельникова позволяет найти необходимые состояния системы. Любой график представляется множеством его дискретных значений. Функцию системы  $F(t)$ , состоящую из определенного дискретного набора состояний, можно непрерывно определять с любой точностью при помощи значений состояний, следующих друг за другом через интервал времени  $\Delta t = \frac{1}{F_n}$ . Моменты времени состояний системы определяются как  $t_k = k \Delta t$ , при условии отстояния друг от друга за интервал времени  $\Delta t = \frac{1}{2f}$ . Восстановление любого состояния системы определяется по формуле

$$x(t) = \sum_{k=0}^K x_k \frac{\sin \omega_2(t - k \Delta t)}{\omega_2(t - k \Delta t)}, \quad (3)$$

где  $\omega = 2\pi f$ .

Согласно теореме Котельникова, непрерывные значения состояний портовой системы  $x(t)$  можно представить в виде интерполяционного ряда, при условии, что интервал дискретизации удовлетворяет ограничениям  $0 \leq \Delta \leq \frac{1}{2f}$ , где  $f$  — максимальная частота, ограниченная спектром реальных значений в результате наблюдения за системой. Тогда состояния могут быть определены согласно следующему выражению:

$$x(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} x_k \sin \omega(t - k\Delta t). \quad (4)$$

Необходимо также отметить, что в моменты времени  $t_{k-1} = (k-1)\Delta t$  и  $t_{k+1} = (k+1)\Delta t$  значения будут равны нулю.

Процесс точного нахождения состояния системы по имеющимся дискретным значениям представлен на рис. 2.

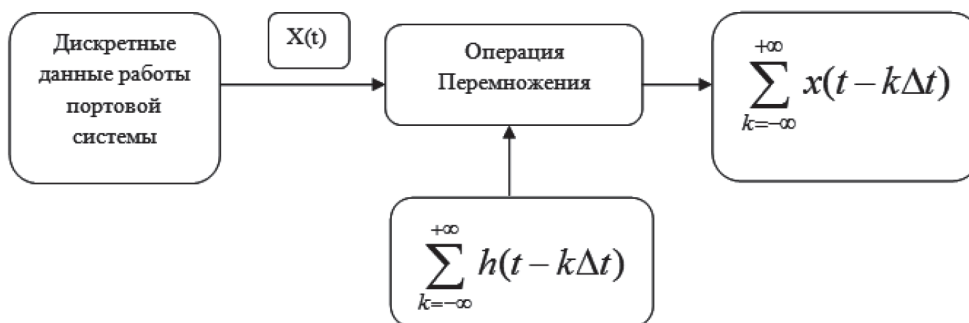


Рис. 2. Процесс дискретизации состояний системы

На рис. 2 на один вход поступает исходный непрерывный процесс  $x(t)$  работы портовой системы, на второй вход — система единичных дискретных значений, следующих друг за другом в течение периода  $\Delta t$ .

Примем дискретный интервал 2014 – 2017 гг. и выполним оценку ожидаемого уровня 2016 г. Согласно статистической информации, пассажиропоток составил 456495 пассажиров. В общем графике на данном этапе наблюдается снижение пассажиропотока по сравнению с прошлым периодом. Уравнение для расчета имеет следующий вид:

$$X_{2016} = F_{2014} \frac{\sin(\omega t_{2016})}{\omega t_{2016}} + F_{2015} \frac{\sin(\omega t_{2016} - \pi)}{\omega t_{2016} - \pi} + F_{2017} \frac{\sin(\omega t_{2016} - 2\pi)}{\omega t_{2016} - 2\pi},$$

где  $t_{2016}$  — дискретный момент времени, для которого нужно выполнить расчет состояния;  $F_{2014}$ ,  $F_{2015}$ ,  $F_{2017}$  — конкретные значения по пассажиропотоку.

Графическая интерпретация расчета приведена на рис. 3. На основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что на основании имеющихся данных пассажиропоток за 2016 г. должен был составить 561378 пассажиров. Расхождение в значениях составляет  $\theta = 104883$  пассажиров. Данный вывод применим к любому набору дискретных состояний системы, так как он позволяет найти любое состояние системы. Основное внимание необходимо уделять выбору интервала дискретизации.

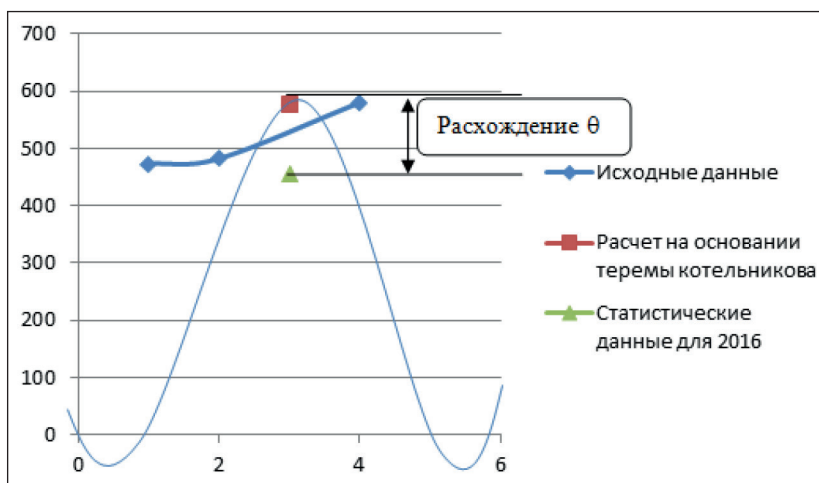


Рис. 3. Реализация нахождения состояния системы по дискретным значениям

Следует отметить, что при решении предусматривалось условие постоянства действия внешней среды и постоянство числа задействованных причалов. Для учета влияния внешней среды необходимо внести дополнительную функцию, отражающую как положительное, так и отрицательное влияние внешней среды:

$$x(t) = \sum_{k=0}^K x_k \frac{\sin \omega_2(t - k\Delta t)}{\omega_2(t - k\Delta t)} \pm \alpha(t), \quad (5)$$

где  $\alpha(t)$  — функция, отражающая влияние внешней среды (к примеру, функция возможного уменьшения пассажиропотока);

Знак « $\pm$ » отражает характер влияния данной функции на исследуемый процесс. Так как влияние внешней среды носит вероятностный характер, то при исследовании данная функция может преобразоваться в набор функций, среди которых за основную будет принята функция, имеющая наименьшие ошибки.

На основании полученного расчета лицо, принимающее решение, должно сформировать систему принятия корректировочных решений для минимизации ошибок. Общая схема формирования модели корректирующих воздействий представлена на рис. 4.



Рис. 4. Схема формирования модели корректирующего воздействия

На основании рис. 4 и предлагаемой модели оценки состояний портовой системы в контур принятия решения по управлению портом дополнительно вносится учет корректирующего воздействия  $X_{кор}(t)$  состояний системы. При этом предлагаемая модель должна использоваться параллельно с блоком моделирования операционной деятельности. На основе моделирования определяется прогнозная загруженность элементов инфраструктуры [9] – [11], [13] и уже затем выполняется расчет состояний, в то время как с использованием предлагаемой модели открывается возможность напрямую рассчитать необходимое состояние портовой системы.

### Результаты (Results)

На основании проведенного исследования для статистических данных по работе морского пассажирского порта «Морской фасад» было произведено восстановление состояния системы за 2016 г. с использованием процесса дискретизации. По полученным результатам были рассчитаны потери портовой системы. Предложенный расчет может быть применим для любого набора дискретных значений как наихудших, так и наилучших состояний любой портовой системы. Произведенный расчет был выполнен без анализа влияния внешней среды. Для учета влияния предлагается включение дополнительной функции, отражающей как положительное, так и отрицательное влияние внешней среды. На основе выполненных расчетов сформирована схема корректирующего воздействия на портовую систему для улучшения ее работы.

### Обсуждение (Discussion)

В качестве примера приведен расчет состояния морского порта «Морской фасад» на 2016 г. Исходными данными послужила статистика пассажирооборота в течение всего периода времени работы. Данные прошли через выборку наихудших и наилучших значений системы. Объектом исследования был выбран интервал, который отразил спад по пассажиропотоку. На основании выполненного исследования путем восстановления значения пассажирооборота за 2016 г. по набору дискретных наилучших значений было получено состояние, которое отличается от реальных данных. В случае, если бы рассчитанный уровень на 2016 г. был реализован, то и в последующие годы должно было наблюдаться улучшение показателей. Для точности проведенных исследований предложена модель процесса дискретизации с добавлением функции влияния внешней среды.

### Заключение (Conclusion)

Настоящие исследования направлены на разработку модели для изучения состояний портовых систем и последующего анализа причин недостижения требуемых параметров работы. Методика базируется на формировании условий выборки состояний системы с учетом связанного набора переменных, обеспечивающих каждое состояние инфраструктуры, получении массива дискретных данных и проведении расчета необходимых состояний на основании положений теоремы Котельникова. В данном аспекте представляется новым подход к исследованию портовых систем на основе дискретизации. Правильность подхода подтверждается выполненным расчетом. При этом предлагается произвести учет воздействия внешней среды путем добавления новой вероятностной функции. Рекомендуются учитывать как положительное, так и отрицательное воздействие внешней среды.

Представленную методику можно использовать как параллельно с выполнением операционного моделирования работы портовой системы, так и отдельно, при заданных дискретных значениях. Для специалистов отрасли открывается возможность использовать модель как на макроуровне, так и применять для анализа отдельных узлов микроуровня портовых систем. Предлагаемая методика, как ожидается, будет достаточно полезной для специалистов как на стадии операционного управления терминалом, так и при решении прогнозирования его работы.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бродецкий Г. Л. Системный анализ в логистике. Принятие решений в условиях неопределенности / Г. Л. Бродецкий. — М.: АCADEMA, 2010. — 336 с.
2. Венцель Е. С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения / Е. С. Венцель, Л. А. Овчаров. — М.: Наука, 1991. — 384 с.
3. Морской Фасад [Электронный ресурс]. — Режим доступа <https://www.portspb.ru> (дата обращения: 15.01.2018).
4. Майоров Н. Н. Исследование состояний контейнерного терминала на основе транспортной модели и имитационного моделирования / Н. Н. Майоров, А. В. Кириченко, В. А. Фетисов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2016. — № 3 (37). — С. 7–15. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-7-3-7-15.

5. Майоров Н. Н. Исследование операционных процессов обслуживания пассажиров в морском пассажирском терминале с использованием моделирования / Н. Н. Майоров, В. А. Фетисов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2016. — № 6 (40). — С. 70–80. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-6-70-80.

6. Порт Санкт-Петербург Морской Фасад. Расписание 2017 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://kakdobratsyado.ru/country/rf/morskie-porty-rechnye-vokzaly-rf/passazhirskij-port-sankt-peterburg-morskoj-fasad/> (дата обращения: 15.12.2017).

7. Миллер Б. М. Теория случайных процессов в примерах и задачах / Б. М. Миллер, А. Р. Панков. — М.: Наука: Физмат-лит, 2007. — 317с.

8. Иванов Б. А. Элементы теории дискретных систем автоматического управления / Б. А. Иванов, А. В. Недвига. — Ухта: УГТУ, 2007. — 112 с.

9. Dragović B. Simulation Modelling of Ship-Berth Link with Priority Service / B. Dragović, N. K. Park, Z. Radmilović, V. Maraš // *Maritime Economics & Logistics*. — 2005. — Vol. 7. — Is. 4. — Pp. 316–335. DOI: 10.1057/palgrave.mel.9100141.

10. Jugović A. Organization of Maritime Passenger Ports / A. Jugović, V. Mezak, S. Lončar // *Pomorskizbornik*. — 2006. — Vol. 44. — Is. 1. — Pp. 93–104.

11. Handbook of Terminal Planning / edited by J. W. Böse. — Springer Science+Business Media, LLC, 2011. — 456 p. DOI: 10.1007/978-1-4419-8408-1.

12. Port Development. A handbook for planners in developing countries. — Second Edition, Revised and expanded. — New York: UNCTAD, 1985. — 227 p.

13. Dragović B. Ship-berth link performance evaluation: simulation and analytical approaches / B. Dragović, N. K. Park, Z. Radmilović // *Maritime Policy & Management*. — 2006. — Vol. 33. — Is. 3. — Pp. 281–299. DOI: 10.1080/03088830600783277.

## REFERENCES

1. Brodetskii, G.L. *Sistemnyi analiz v logistike. Prinyatie reshenii v usloviyakh neoprede-lennosti*. M.: ACADEMA, 2010.

2. Ventsel', E.S., and L.A. Ovcharov. *Teoriya sluchainykh protsessov i inzhenernye prilozheniya*. M.: Nauka, 1991.

3. Morskoj Fasad. Web. 15 Jan. 2018 <<https://www.portspb.ru>>.

4. Maiorov, Nikolai Nikolaevich, Aleksandr Viktorovich Kirichenko, and Vladimir Andreevich Fetisov. "Research operational management container terminal based on the transport model and simulation." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 3(37) (2016): 7–15. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-7-3-7-15.

5. Maiorov, Nikolai Nikolaevich, and Vladimir Andreevich Fetisov. "Research of operational processes passenger services in the marine passenger terminal using simulation." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 6(40) (2016): 70–80. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-6-70-80.

6. Port Sankt-Peterburg Morskoj Fasad. Raspisanie 2017. Web. 15 Dec. 2017 <<http://kakdobratsyado.ru/country/rf/morskie-porty-rechnye-vokzaly-rf/passazhirskij-port-sankt-peterburg-morskoj-fasad/>>.

7. Miller, B.M., and A.R. Pankov. *Teoriya sluchainykh protsessov v primerakh i zadachakh*. M.: Nauka: Fizmat-lit, 2007.

8. Ivanov, B.A., and A.V. Nedviga. *Elementy teorii diskretnykh sistem avtomaticheskogo upravleniya*. Ukhta: UGTU, 2007.

9. Dragović, Branislav, N. K. Park, Z. Radmilović, and V. Maraš. "Simulation modelling of ship-berth link with priority service." *Maritime Economics & Logistics* 7.4 (2005): 316–335. DOI: 10.1057/palgrave.mel.9100141

10. Jugović, Alen, Vlado Mezak, and Slavko Lončar. "Organization of Maritime Passenger Ports." *Pomorski zbornik* 44.1 (2006): 93–104.

11. Böse, J.W., ed. *Handbook of Terminal Planning*. Springer Science+Business Media, LLC, 2011. DOI: 10.1007/978-1-4419-8408-1.

12. *Port Development. A handbook for planners in developing countries*. Second Edition, Revised and expanded. New York: UNCTAD, 1985.

13. Dragović, B., N.K. Park, and Z. Radmilović. "Ship-berth link performance evaluation: simulation and analytical approaches." *Maritime Policy & Management* 33.3 (2006): 281–299. DOI: 10.1080/03088830600783277.

**ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ**

**Майоров Николай Николаевич** —  
кандидат технических наук, доцент  
Санкт-Петербургский государственный  
университет аэрокосмического приборостроения  
190000, Российская Федерация, Санкт-Петербург,  
ул. Большая Морская, 67, лит. А  
e-mail: [nmsoft@yandex.ru](mailto:nmsoft@yandex.ru)

**INFORMATION ABOUT THE AUTHOR**

**Maiorov, Nikolai N.** —  
PhD, associate professor  
Saint-Petersburg State University  
of Aerospace Instrumentation  
67/A Bol'shaya Morskaya Str., St. Petersburg, 190000,  
Russian Federation  
e-mail: [nmsoft@yandex.ru](mailto:nmsoft@yandex.ru)

*Статья поступила в редакцию 16 января 2018 г.*

*Received: January 16, 2018.*