

DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-3-537-548

RESEARCH OF THE MODEL FOR ASSESSING THE WORKLOAD OF PASSENGER PORT INFRASTRUCTURE USING DECISION-MAKING MODELS UNDER UNCERTAINTY

A. A. Dobrovolskaia

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

The current situation formed by the changeable influence of the external environment on the interaction of “sea passenger port — sea ferry/cruise company” systems has formulated new decision-making tasks under uncertainty to justify infrastructural changes. It is not enough for the managers of sea passenger ports and terminals to make decisions only on the basis of deterministic models. Probabilistic nature of the processes predetermines the need to form new models and methods to substantiate strategies for the sea passenger ports development. The problem field considered in the paper is topical because today due to such trends as increase in dimension of cruise and ferry vessels and changes in route networks it is necessary to solve the problem of development forecasting on the basis of scenario modeling. Modeling should be performed on the basis of new digital transport models, which take into account the peculiarities of marine ports and terminals infrastructure, and priority of berths. The digital model of “Passenger Port of St. Petersburg “Sea Façade”, developed by the author, is used in the paper and the necessity to single out separate states in the development of sea passenger ports is substantiated. The validity of singling out a set of boundary points, turning points of uncertainty of future development of a complex system of a sea passenger port or terminal, connected with the presence of bifurcation zones — “ramification” of possible ways of the port system evolution is proved. The proof of the proposed approach is presented by means of allocation of individual stages in the development of the sea passenger port of St. Petersburg. Based on the presented approach, a new model for the evolution and management of the sea passenger port system development is proposed. This model on a single assembly field reflects temporary changes in the development of the sea passenger port and analytical data on the increase or decrease in the number of berths. The presented set of transition points allows to determine the time model of the sea passenger port development. A new model of working with data for making decisions on modernization of sea passenger port infrastructure is offered. On the basis of modeling, taking into account different distribution laws (gamma distribution, Poisson distribution, normal distribution and others) the conditions for formation of the individual “fields of utility”, cones of preference and target functions are presented. For precise description of decision-making situation under uncertainty faced by the head of the sea passenger port, the choice of Savage criterion (S-criterion) is substantiated and mathematical model and criteria are given. A solution for formation of acceptable interval on the basis of Dataset utility field data on intensities of ferry and cruise lines work is given. On the basis of the experiment, the accuracy of the proposed decision-making model under uncertainty to justify the conditions on the need for modernization of infrastructure (modernization of berths) of the sea passenger port is substantiated. The presented model and results can be applied to other sea passenger ports and terminals, which determines the universality of the presented approach.

Keywords: sea passenger port, intensity of ferry lines, development forecasting, stochastic models, decision making under uncertainty, infrastructure modernization.

For citation:

Dobrovolskaia, Angelina A. “Research of the model for assessing the workload of passenger port infrastructure using decision-making models under uncertainty.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 15.3 (2023): 537–548. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-3-537-548.

УДК 65.012.1, 656.072

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ЗАГРУЖЕННОСТИ ИНФРАСТРУКТУРЫ МОРСКОГО ПАССАЖИРСКОГО ПОРТА С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛЕЙ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

А. А. Добровольская

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», Санкт-Петербург, Российская Федерация

Исследована современная ситуация, сформированная изменчивым влиянием внешней среды на взаимодействие систем «морской пассажирский порт – морская паромная / круизная компания», которая позволила сформировать новые задачи принятия решений при неопределенности по обоснованию инфраструктурных изменений. Отмечается, что руководителям морских пассажирских портов и терминалов недостаточно формировать принятие решений только на основе детерминированных моделей — вероятностный характер процессов предопределяет необходимость формирования новых моделей и методов для обоснования стратегий развития морских пассажирских портов. Актуальность рассматриваемых в статье проблем обусловлена следующими факторами: влияние увеличения размеров круизных и паромных судов, а также изменения в маршрутных сетях, позволяющие заблаговременно решать задачи прогнозирования развития на основе сценарного моделирования. Подчеркивается, что моделирование должно выполняться на основе новых цифровых транспортных моделей, учитывающих особенности инфраструктуры пассажирских портов и терминалов, а также приоритетности причалов. В статье использована разработанная для данного исследования цифровая модель АО «Пассажирский порт Санкт-Петербург «Морской фасад» и обоснована необходимость выделения отдельных состояний в развитии морских пассажирских портов. Доказана обоснованность выделения набора граничных точек, переломных моментов неопределенности будущего развития сложной системы морского пассажирского порта или терминала, связанного с наличием зон бифуркации — «разветвления» возможных путей эволюции портовой системы. Доказательство предлагаемого подхода представляется при помощи выделения отдельных стадий в развитии морского пассажирского порта Санкт-Петербурга. На основе представленного подхода предложена новая модель эволюции и управления развития системы морского пассажирского порта. Данная модель на едином «сборочном поле» отражает временные изменения в развитии морского пассажирского порта и аналитические данные по увеличению / уменьшению количества причалов. Представленный набор переходных точек позволяет определить временную модель развития морского пассажирского порта. Предложена новая модель работы с данными для принятия решений по модернизации инфраструктуры морского пассажирского порта. На основе широкого использования моделирования, с учетом различных законов распределения (гамма-распределение, пуассоновское распределение, нормальное и др.), представлены условия формирования отдельных «полей полезности», конусов предпочтений и целевых функций. Для точного описания ситуации принятия решений при неопределенности, возникающей перед руководителем морского пассажирского порта, обоснован выбор критерия Сэвиджа (S-критерий), приведены математическая модель и критерии. Показано решение формирования допустимого интервала на основе данных Dataset поля полезности по интенсивности работы паромных и круизных линий. На основе выполненного эксперимента обоснована точность предлагаемой модели принятия решений при неопределенности для обоснования условий по необходимости модернизации инфраструктуры (модернизации причалов) морского пассажирского порта. Представленные модель и результаты могут быть применены для других морских пассажирских портов и терминалов, что определяет универсальность представленного подхода.

Ключевые слова: морской пассажирский порт, интенсивности паромных линий, прогнозирование развития, стохастические модели, принятие решений в условиях неопределенности, модернизация инфраструктуры.

Для цитирования:

Добровольская А. А. Исследование модели оценки загруженности инфраструктуры морского пассажирского порта с помощью моделей принятия решений при неопределенности / А. А. Добровольская // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2023. — Т. 15. — № 3. — С. 537–548. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-3-537-548.

Введение (Introduction)

Морские пассажирские порты и терминалы являются как центрами развития регионов, так и центрами концентрации новых моделей и методов по оценке загруженности для модернизации и прогнозирования развития инфраструктуры. Необходимо отметить, зависимость систем «морская паромная компания — морской пассажирский порт» от влияния внешней среды, геополитической ситуации и прямого влияния тенденций строительства новых типов круизных и паромных судов, новых моделей и методов обслуживания пассажиропотоков [1], [2]. Кроме того, необходимо учитывать наличие тренда на внедрение новых цифровых сервисов, логистических информационных систем как для внутренних процессов пассажирского порта, так и процессов, влияющих на развитие сервисов для пассажиров [3]. Сложность рассматриваемых процессов подтверждается тем, что исследуя взаимодействие систем «морская паромная компания – морской пассажирский

порт» как целостной системы, состоящей из совокупности динамически связанных структурных элементов, следует учитывать их *иерархическую взаимосвязь*, значимость которой усиливается при декомпозиции системы, а также влияние внутренних и внешних условий на результативность ее функционирования, что приводит к двум аспектам изучения системы: как на макроуровне, так и микроуровнях. Изменение отдельных процессов или отдельная инфраструктурная модернизация морского пассажирского порта может привести к повышенной загруженности последующих элементов. Необходимо отметить взаимное влияние морских пассажирских портов друг на друга в регионах морей, наличие конкуренции за пассажиропотоки и сопутствующие грузопотоки [4], [5]. В связи с этим для руководителей морских портов и терминалов с большей частотой возникают задачи принятия решений в условиях неопределенности [6], обусловленные необходимостью работы с большим набором разнородных данных.

Каждый морской пассажирский порт развивается как сложная система по своей собственной траектории развития с учетом уникального влияния региональных и геополитических факторов. Для каждого морского пассажирского порта можно определить отдельные стадии в развитии и сформировать выделение отдельных критических точек, в период формирования новых инфраструктурных изменений, обеспечивающих изменение позиции порта в регионе, увеличение числа причалов и увеличение загруженности работы.

Отдельная стадия развития морского порта соответствует фиксации определенной инфраструктуры морского пассажирского порта на выбранном временном интервале. Применительно к морским пассажирским портам как сложным системам можно применить следующие трактовки:

- состояние морского пассажирского порта — это фиксация значений параметров работы портовой системы на определённый момент времени;
- поведение системы (стратегии работы и позиционирования) — это определенные закономерности перехода морской портовой системы из одного состояния в другое, определяемые как взаимодействием с внешней средой, так и целями самой системы, внутренними изменениями;
- развитие, эволюция морского пассажирского порта — это закономерное изменение портовой системы во времени, при котором может меняться не только ее структура, но и поведение на рынке морских пассажирских перевозок, модель, стратегия продвижения.

Применительно к морским пассажирским портам оправдано применение *синергетического подхода*. Поясним данное положение на следующих примерах. Согласно принципу *спонтанного возникновения* И. Пригожина [7] в сложных системах, к которым можно отнести систему морского пассажирского порта, возможны особые критические состояния, когда малейшие колебания или отклонения в работе могут внезапно привести к появлению новых структур, полностью отличающихся от заданных. Ввиду развития и усложнения системы можно применить *принцип несовместимости* Л. Заде [8], [9], когда при росте сложности системы уменьшается возможность ее точного описания вплоть до некоторого порога. Данное положение полностью соответствует стадиям развития морского пассажирского порта. В отношении изменений морского пассажирского порта можно отметить, что с позиций системного многокритериального анализа развитие такой сложной системы многовариантно и альтернативно, а также существует «спектр» или группа путей ее эволюции. В этом случае некоторый переломный момент неопределенности будущего развития сложной системы морского пассажирского порта или терминала связан с наличием зон бифуркации — «разветвления» возможных путей эволюции портовой системы.

Рассмотрим стадии развития Морского пассажирского порта Санкт-Петербург (ныне АО «Пассажирский порт Санкт-Петербург «Морской фасад»), который был связан регулярным сообщением с портами Западной Европы (в частности, с Лондоном), начиная с 20-х гг. XX в. [10], [11].

Первая стадия развития порта связана с тем, что в г. Ленинграде исторически пассажирские суда швартовались у набережной Лейтенанта Шмидта и Английской набережной. В 1930-е гг. был построен новый морской вокзал, который находился на набережной Лейтенанта Шмидта. В 1963 г. был открыт первый морской вокзал в гавани на Васильевском острове, соответствующий всем требованиям времени по обработке судов и пассажиропотоку.

Вторая стадия определяется тем фактом, что от внешней среды поступает запрос на обработку более крупных круизных судов, а также тем, что в 1977–1982 гг. недалеко от Галерной гавани, на площади Морской славы на Васильевском острове, было возведено новое здание Морского вокзала. Для круизных судов потребовалось углубление канала до Морского вокзала. Для адаптации переходного процесса пассажирские суда «А. Пушкин», «М. Лермонтов» швартовались тогда на причале № 7 морского грузового порта, в пакгаузе которого временно размещался пассажирский морской вокзал. Кроме того, суда швартовались у грузовых причалов Морского порта Санкт-Петербург № 29, 30, 32 и 34.

Третья стадия заключалась в активной работе «Морского вокзала», где с начала 1980-х гг. круизные и паромные суда смогли швартоваться на Васильевском острове.

Четвертая стадия заключалась в переходе к строительству, работе нового специализированного морского пассажирского порта АО «Пассажирский порт Санкт-Петербург «Морской фасад» и концентрация системы управления морским паромными и круизными перевозками [11].

Рассмотренные стадии представлены на рис. 1.

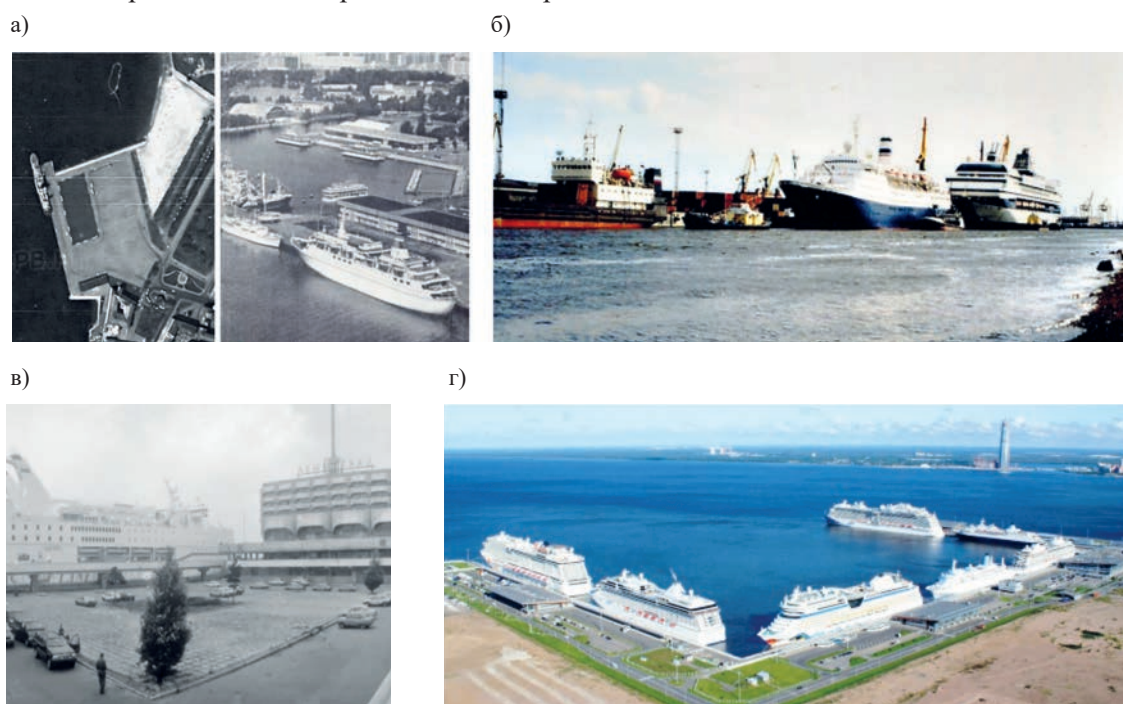


Рис. 1. Выделение отдельных состояний развития системы «Пассажирский порт Санкт-Петербург «Морской фасад»: а — I стадия; б — II стадия; в — III стадия; г — IV стадия

Таким образом, ранее изложенное формирует необходимость разработки новых моделей и методов принятия решений по модернизации инфраструктуры морских пассажирских портов, которые с большей точностью позволят сформировать обоснованный выбор стратегии развития в ситуации неопределенности. Для достижения данного результата необходима разработка цифровых моделей морских пассажирских портов, разработка алгоритмов анализа данных и формирования системы принятия решений.

Методы и материалы (Methods and Materials)

В статье [12] рассматриваются современные тренды, оказывающие влияние на морские пассажирские порты, которые вызывают необходимость модернизации портовой инфраструктуры. В работах [12]–[14] приведены примеры конкретных инфраструктурных решений. На основе ретроспективного анализа АО «Пассажирский порт Санкт-Петербург «Морской фасад» можно построить следующую модель, которая объединяет в себе как варианты выбора различных стратегий

развития, так и числовые значения по увеличению количества причалов и интенсивности их работы и изменению позиции в регионе моря. Модель изменения системы морского пассажирского порта с учетом влияния внешней среды приведена на рис. 2. Каждая выделенная стадия работы морского пассажирского порта характеризуется отдельной маршрутной паромной или круизной сетью региона моря, которую для системного представления необходимо представлять в виде диаграмм интенсивностей Circos [13].

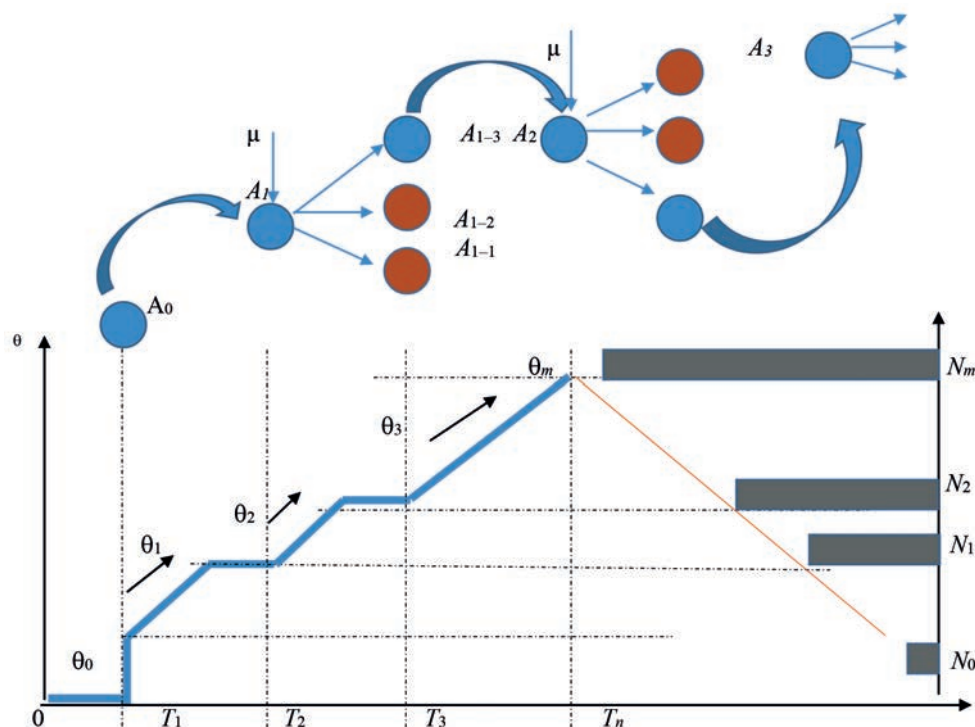


Рис. 2. Модель эволюции и управления развития морского пассажирского порта

На рис. 2 приняты следующие условные обозначения: T_i — моменты времени фиксации отдельных состояний морского пассажирского порта; $A_0, A_1, A_2, \dots$ — новые состояния развития (стадии развития) морского пассажирского порта; $A_{1-1}, A_{1-2}, \dots$ — альтернативные варианты развития порта, которые не получили развития; θ_i — развитие системы морского пассажирского порта как график увеличения пассажиропотока и интенсивности работы с чередованием стабильных временных этапов развития и работы терминала; N_i — возрастающий уровень сложности инфраструктуры морского пассажирского порта, увеличение количества причалов и выделение специализированных причалов под крупные круизные и паромные суда; μ — источник влияния внешней среды вызывающий изменения.

Анализ интенсивности работы АО «Пассажирский порт Санкт-Петербург «Морской фасад» приведен на рис. 3.

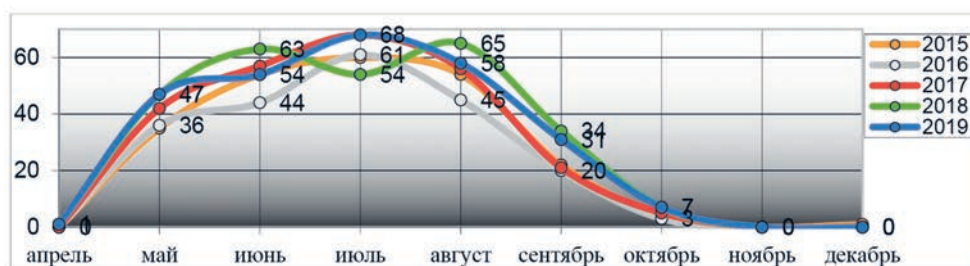


Рис. 3. Интенсивность заходов круизных и паромных судов в АО «Пассажирский порт Санкт-Петербург «Морской фасад» в 2015–2019 гг.

Модернизация морского пассажирского порта должна быть обоснована, при этом необходимо одновременное использование моделей принятия решений при неопределенности и моделей моделирования на основе систем массового обслуживания. Руководитель порта оперирует имеющейся у него интенсивностью работы за прошлые периоды, в то время как для оценки различных сценариев прогнозирования необходимо создать определенное количество гипотез и выполнить последующее моделирование сценариев. Для решения формирования системы принятия решений по модернизации инфраструктуры предлагается следующая модель (рис. 4).



Рис. 4. Модель работы с данными для принятия решений по модернизации инфраструктуры морского пассажирского порта

Результат моделирования различного сценария работы определяется как отдельное состояние, отдельная точка в общем поле полезности. С позиций принятия решений при неопределенности, ввиду отсутствия точных прогнозных данных, выберем в качестве базового критерий Сэвиджа [6]. Данный критерий характеризуется крайней осторожной (пессимистической) позицией отношения руководителя к возможным потерям в системе из-за отсутствия достоверных сведений о том, какая из ситуаций, влияющих на экономический результат, будет иметь место в конкретном дискретном случае. Данный критерий, в отличие от других, к примеру, Лапласа, Гурвица и других, наиболее точно описывает ситуацию принятия решений при неопределенности, которая возникает перед руководителем морского пассажирского порта.

Для выполнения исследования принимаем, что для этого критерия характерна пессимистическая позиция лица, принимающего решение к возможным состояниям (некоторым потерям) из-за недостатка информации. Для решения данным критерием реализуется матрица рисков и матрица потерь L . Сначала определяется условное решение X_y , которое соответствует утопическому решению в поле полезностей из различных модельных интенсивностей работы морского порта. Затем матрица потерь L_{ij} строится по потерям относительно утопического решения X_y (по каждому решению для каждой возможной ситуации). При анализе матрицы потерь за основу принимаются самые неблагоприятные варианты развития для морского пассажирского порта для каждого из доступных решений по всем ситуациям, не зависящим от руководителя (или лица принимающего решение). Наиболее приемлемым результатом выбирается наименее рискованная стратегия из всех возможных. Функция, задающая семейство линий уровня, выглядит следующим образом:

$$f(u; v; \dots; z) = \max \{a_{y1} - u; a_{y2} - v; \dots; a_{ym} - z\}, \quad (1)$$

Исходя из этого можно формализовать задачу нахождения наилучшего решения. Пусть i — вариант возможного решения руководителя ($i = 1, 2, \dots, m$); j — вариант возможной ситуации

($j = 1, 2, \dots, m$) состояния порта; a_{ij} — доход руководителя, если будет принято решение i -я, а ситуация сложится j -я; $A = (a_{ij})$ — матрица полезностей всех вариантов работы морского пассажирского порта; $L = (l_{ij})$ — соответствующая матрица потерь или рисков. Целевая функция критерия в данном случае имеет следующий вид:

$$Z_s = \min_i \{K_i\}, \quad (2)$$

где $K_i = \max_j \{l_{ij}\}$; $l_{ij} = \max_i \{a_{ij}\} - a_{ij}$

Для оценки различных интенсивностей работы морских паромных линий и исследования различных вариантов загруженности причалов выполним имитационное моделирование, используя следующие распределения: гамма-распределение, пуассоновское распределение, нормальное распределение и др. При моделировании будем считать общее количество паромных (круизных) судов за навигацию.

Результаты исследования (Results of the research)

Для выполнения моделирования различных сценариев работы морского пассажирского порта была разработана цифровая транспортная модель морского пассажирского порта в среде Anylogic [15]–[17]. Исходными данными была выбрана интенсивность работы АО «Пассажирский порт Санкт-Петербург «Морской фасад» в течение периода навигации до 2019 г. Для каждого вида распределения входного потока было проведено 50 экспериментов в цифровой транспортной модели в среде AnyLogic [15]. Ожидаемое входное значение потока задается, по данным 2019 г., для морского пассажирского порта — 265 судов в год. Результаты исследования приведены в таблице.

Результаты модельных экспериментов различной интенсивности круизных и паромных судов

№ п/п.	Гамма	Пуассоновское	Нормальное	№ п/п.	Гамма	Пуассоновское	Нормальное
1	247	263	249	1	264	317	266
2	289	221	240	2	262	295	257
3	240	269	242	3	315	274	252
4	297	273	264	4	273	291	275
5	280	320	284	5	257	299	280
№ п/п.	Гамма	Пуассоновское	Нормальное	№ п/п.	Гамма	Пуассоновское	Нормальное
6	261	221	290	11	295	277	240
7	259	249	263	12	279	276	256
8	308	265	248	13	271	257	267
9	269	264	358	14	265	266	274
10	281	234	356	15	270	269	272

На основе полученных значений интенсивностей работы круизных или паромных линий сформируем поле полезности для каждого варианта (рис. 5).

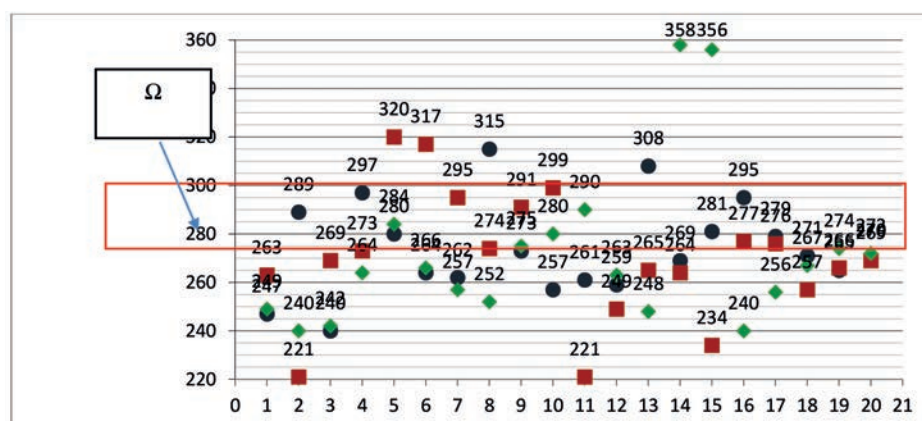


Рис. 5. Формирование поля полезности для принятия решений при неопределенности и перехода к исследованию по критерию Сэвиджа

На рис. 5 символом Ω обозначена некоторая изменяемая лицом принимающим решение область выборки, определяющая интервал допустимых значений интенсивности загрузки морского порта. Для каждой выбираемой области формируются УТ (утопическая точка, точка с наилучшим результатом) и АУТ (антиутопическая точка — точка с наихудшим результатом). Результаты исследования по критерию Сэвиджа (S -критерий) приведены на рис. 6.

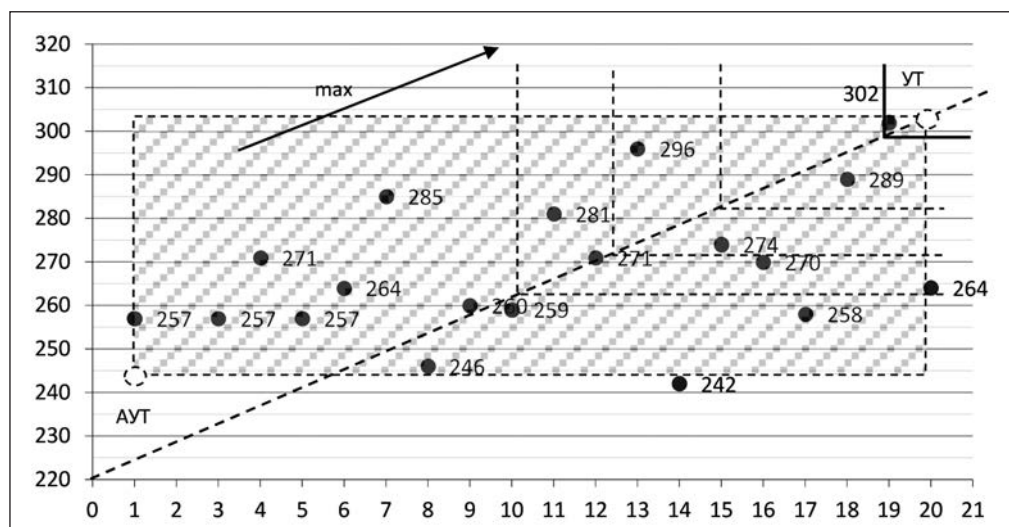


Рис. 6. Уточнение параметров интенсивностей загрузки морского пассажирского порта для принятия решений по модернизации:
max — параметр, формирующий направление предпочтения, соответствующего выбору наибольшего количества посещений круизных и паромных судов;
-- — линии уровня S -критерия

Особенностью предлагаемой модели является работа с динамическими данными (например, использование данных от беспилотных авиационных систем [18]), для точной реализации имитационной цифровой модели морского порта. Цифровая модель морского порта должна иметь возможность моделировать различные сценарии работы интенсивностей круизных и паромных судов, выполнять моделирования с учетом приоритетов судов и причалов по обработке. По мере перемещения линии уровня формируется набор интенсивностей работы морского пассажирского порта, каждый из которых определяет прогнозируемое состояние порта. На основе анализа представленных данных можно сделать вывод о том, что следование S -критерию позволяет сформировать переход на увеличение обработки до 302 круизных и паромных судов для выбранного порта. При увеличении данного значения необходимо строительство дополнительных новых причалов.

Обсуждение (Discussion)

Современная ситуация в сфере морских паромных и круизных перевозок характеризуется как постепенным восстановлением пассажиропотоков после ограничений, вызванных как эпидемией Covid – 19, так и активным переходом индустрии к строительству больших лайнеров и формированием новых маршрутов в регионах морей. Инфраструктура морских пассажирских портов должна соответствовать современным требованиям для возможности приемки регионом больших круизных судов и сохранения пассажиропотока. Кроме того, морские паромные и круизные компании для достижения докризисных уровней и привлечения пассажиропотока будут активно создавать новые маршруты. Поэтому система морского пассажирского порта должна оперативно реагировать в ситуации конкуренции за пассажиропоток, создавая условия либо для модернизации существующих причалов, либо для строительства новых.

Характерным примером формирования ответа на внешний вызов и влияния тренда на увеличение габарита круизных судов является тот факт, что ввиду увеличения длины судна бо-

лее 330 м АО «Пассажирский Порт Санкт-Петербург «Морской фасад» успешно выполнил проект строительства выносных палов, тем самым увеличив длину причалов № 6 и № 7 (причального фронта) на 108,6 м. В данном случае морской пассажирской порт стратегически реализовал возможность приема крупных морских лайнеров, а Санкт-Петербург создал новую систему круизных и паромных маршрутов. Однако ввиду динамического влияния внешней среды, точность детерминированных моделей для реализации задач прогнозирования развития снижается. На первое место выходит сценарное моделирование различных интенсивностей круизных и паромных судов с учетом введения приоритетности причалов для конкретных типов и размеров судов. Набор вариантов моделирования формирует группу значений, для которых необходимо применять модели принятия решений при неопределенности, а также S -критерии, позволяющие определить набор целевых значений, которые должна достигнуть система морского пассажирского порта.

Представленные в статье модель и метод анализа позволяют на качественно новом уровне обосновать целевые параметры работы порта и инфраструктурные изменения. Кроме того, формируется допустимый интервал значений работы морского пассажирского порта, который обеспечит *оптимальную эффективность*. Предлагаемое решение отличается более оптимальной функциональностью в отличие от дискретных моделей.

Представленный анализ принятия решений при неопределенности на основе собранных данных по маршрутным направлениям сформировал набор данных Dataset, который необходимо использовать для исследования инфраструктуры и формирования обоснованных предложений по модернизации. Полученные данные за счет использования цифровой модели морского пассажирского порта позволяют исследовать различные сценарии и интенсивности, что обеспечивает получение полного набора данных.

Результаты (Results)

Представленная в исследовании модель принятия решения при неопределенности и модель работы с данными позволяют обосновать модернизацию инфраструктуры пассажирского порта (например, количество причалов) для увеличения интенсивности работы, а также привлечения новых паромных и круизных линий. Для этого на основе цифровой модели морского пассажирского порта формируются различные модельные сценарии, формирующие набор данных «поля полезности». При выполнении исследования в модели учитывалось решение задачи формирования приоритетности причалов для определенных типов круизных и паромных судов. Выполненное исследование основано на расписании судозаходов и использовании различных параметров загрузки причалов.

Для построения цифровой транспортной модели предлагается использование динамических данных (например, от беспилотных авиационных систем), на основе которых строится пространственная модель для последующего использования в имитационной программной среде AnyLogic. Данное предложение позволяет обеспечить гибкость работы с модельными данными и повысить точность результатов моделирования.

Для формирования стратегии по модернизации был выбран S -критерий, так как он позволяет точно описать ситуацию наличия ограниченности информации по интенсивностям работы круизных и паромных линий. Дополнительно при перемещении конуса предпочтений открывается возможность выделения некоторого допустимого интервала, который обеспечит наилучшую ожидаемую интенсивность работы морского пассажирского порта по приему круизных и паромных судов.

Эталонными для исследования и проверки предлагаемой модели были данные АО «Пассажирский порт Санкт-Петербург «Морской фасад», интенсивность которых была исследована за различные годы. Полученные результаты подтвердили необходимость выполнения модернизации причалов и их реализации для данного порта, что подтвердило эффективность предложенной модели.

Предлагаемую модель исследования систем «морской пассажирский порт – морская паромная / круизная линия» с учетом внедрения в контур принятия решения цифровой транспортной модели необходимо использовать для принятия решений по модернизации инфраструктуры и формирования перехода на новую стадию развития.

Выводы (Summary)

На основе выполненного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Выполнено раскрытие и фиксация понятия «отдельного состояния» морского пассажирского порта как сложной технической системы, предложена новая модель исследования изменений.
2. Несмотря на методическую сложность анализа данных представленный подход к прогнозированию развития морских пассажирских портов как исследование набора связанных определенных выбранных состояний является эффективным, что обеспечивает формирование полного набора данных и определение зон бифуркации системы.
3. Системно представлены основные вызовы со стороны внешней среды, общества и паромных компаний, которые являются источником формирования новых требований по модернизации инфраструктуры.
4. Для доказательства точности и применимости предлагаемого нового метода для других морских пассажирских портов в качестве эталонного исследования выполнено выделение отдельных стадий развития для АО «Пассажирский порт Санкт-Петербург «Морской фасад» (выполнен системный ретроспективный анализ).
5. Предложена общая модель эволюции и изменения состояния морского пассажирского порта, объединяющая как данные по увеличению инфраструктуры порта, так и формирование условий влияния внешней среды и выделение зон бифуркации.
6. Адекватность предложенной модели работы с данными для принятия решений по модернизации инфраструктуры морского пассажирского порта с включением принятия решений при неопределенности доказана математически и проверена на принятых эталонных значениях.
7. Модель с обоснованием использования S -критерия как наиболее подходящего для описания ситуации принятия решения со стороны руководителя морского пассажирского порта определением «поля полезности» и набором утопических и антиутопических значений работы морского пассажирского порта может быть рекомендована для практического использования.
8. На основе полученных модельных данных интенсивней судозаходов круизных и паромных линий сформированы новые DataSet для представления «полей полезности» и сформированы конусы предпочтения как для формирования отдельных целевых значений в развитии порта, так и достоверных интервалов.
9. Сформированные данные на основе предлагаемой модели необходимо использовать при решении группы вопросов прогнозирования развития, выбора стратегии продвижения морского пассажирского порта в регионе моря.
10. При использовании предложенной модели не требуется проводить исследования достоверности (достаточной репрезентативности количества испытаний).
11. Результаты анализа необходимо использовать при исследовании операционной загруженности наземной инфраструктуры морского пассажирского порта и определять максимальные уровни загруженности применительно к конкретным морским терминалам, формировать системы принятия решений при неопределенности модернизация инфраструктуры для изменения положения порта в регионе в сфере морских пассажирских перевозок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шпилько С. П. Морские круизы: теория и практика / С. П. Шпилько, Н. В. Андропова, Р. В. Чударев. — М.: Советский спорт, 2012. — 147 с.
2. Ćorluka G. Cruise port passenger flow analysis: A cruise port governance perspective / G. Ćorluka, I. Peronja, D. Tubić // NAŠE MORE: znanstveni časopis za more i pomorstvo. — 2020. — Vol. 67. — Is. 3. — Pp. 181–191. DOI: 10.17818/NM/2020/3.1.
3. Krile S. Modernization of the Infrastructure of Marine Passenger Port Based on Synthesis of the Structure and Forecasting Development / S. Krile, N. Maiorov, V. Fetisov // Sustainability. — 2021. — Vol. 13. — Is. 7. — Pp. 3869. DOI: 10.3390/su13073869.

4. Cruise Market Watch. Growth of the Ocean Cruise Line Industry. 2023 [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://cruisemarketwatch.com/growth/> (дата обращения: 22.03.2023).
5. Baltic LINes: Shipping in the Baltic Sea — Past, present and future developments relevant for Maritime Spatial Planning. Project Report I. — 2016. — 35 p.
6. Бродецкий Г. Л. Системный анализ в логистике. Выбор в условиях неопределенности / Г. Л. Бродецкий. — М.: Academia, 2010. — 336 с.
7. Волкова В. Н. Теория систем и системный анализ: учебник для академического бакалавриата / В. Н. Волкова, А. А. Денисов. — 2-е изд. — М.: Юрайт, 2014. — 616 с.
8. Ильясов Б. Г. Основы теории систем и системного анализа: учебное пособие / Б. Г. Ильясов; Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. — Уфа: РИК УГАТУ, 2016. — 217 с.
9. Паладич Л. Грузопассажирские суда / Л. Паладич // Морской флот. — 1990. — № 9. — С. 28–30.
10. Калиниченко И. Не нужен им берег российский // Коммерсантъ [Электронный ресурс] / И. Калиниченко. — Режим доступа: <https://www.kommersant.ru/doc/883731> (дата обращения: 02.03.2023).
11. АО «Пассажирский Порт Санкт-Петербург «Морской фасад» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.portspb.ru/> (дата обращения: 15.02.2023).
12. Майоров Н. Н. Вероятностная модель прогнозирования прибытия круизных или паромных судов в морской порт для оценки инфраструктуры / Н. Н. Майоров, В. А. Фетисов, А. А. Добровольская // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2022. — Т. 14. — № 2. — С. 169–180. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-2-169-180.
13. Майоров Н. Н. Исследование работы морских пассажирских терминалов на основе диаграмм связей / Н. Н. Майоров // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. — 2019. — № 1. — С. 119–126. DOI: 10.24143/2073-1574-2019-1-119-126.
14. Воевудский Е. Н. Стохастические модели в проектировании и управлении деятельностью портов / Е. Н. Воевудский, М. Я. Постан. — М.: Транспорт, 1987. — 318 с.
15. AnyLogic [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.anylogic.ru> (дата обращения: 15.02.2023).
16. Krile S. The influence of external environment to the ferry lines and marine passenger terminals/ S. Krile, N. Maiorov // Transport Problems. — 2020. — Vol. 15. — Pp. 203–214. DOI: 10.21307/TP-2020-060.
17. Liu Y. Cruise tourism for sustainability: An exploration of value chain in Shenzhen Shekou port / Y. Liu, E. Dong, S. Li, X. Jie // Sustainability. — 2020. — Vol. 12. — Is. 7. — Pp. 3054. DOI: 10.3390/su12073054.
18. Майоров Н. Н. Исследование путей разработки точных цифровых моделей для объектов и узлов транспортной инфраструктуры / Н. Н. Майоров, А. А. Добровольская, В. Е. Таратун // Системный анализ и логистика. — 2021. — № 4 (30). — С. 114–121. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-4-114-121.

REFERENCES

1. Shpil'ko, S. P., N. V. Andronova, and R. V. Chudarev. *Morskie kruizy: teoriya i praktika*. M.: Sovetskii sport, 2012.
2. Ćorluka, Goran, Ivan Peronja, and Dejan Tubić. “Cruise port passenger flow analysis: A cruise port governance perspective.” *NAŠE MORE: znanstveni časopis za more i pomorstvo* 67.3 (2020): 181–191. DOI: 10.17818/NM/2020/3.1
3. Krile, Srećko, Nikolai Maiorov, and Vladimir Fetisov. “Modernization of the infrastructure of marine passenger port based on synthesis of the structure and forecasting development.” *Sustainability* 13.7 (2021): 3869. DOI: 10.3390/su13073869.
4. Cruise Market Watch. Growth of the Ocean Cruise Line Industry. Web. 22 March 2023 <<https://cruisemarketwatch.com/growth/>>.
5. Baltic LINes: Shipping in the Baltic Sea — Past, present and future developments relevant for Maritime Spatial Planning. Project Report I. 2016.
6. Brodetskii, G. L. *Sistemnyi analiz v logistike. Vybore v usloviyakh neopredelennosti*. M.: Academia, 2010.
7. Volkova, V. N., and A. A. Denisov. *Teoriya sistem i sistemnyy analiz*. M.: YUrajt, 2014.
8. Il'yasov, B. G. *Osnovy teorii sistem i sistemnogo analiza*. Ufa: RIK UGATU, 2016.
9. Paladich, L. “Gruzopassazhirskie suda.” *Morskoi flot* 9 (1990): 28–30.
10. Kalinichenko, I. “Ne nuzhen im bereg rossiiskii.” *Kommersant*. Web. 3 March 2023 <<https://www.kommersant.ru/doc/883731>>.
11. Passenger Port of Saint-Petersburg “Marine Façade”. Web. 2 Apr. 2023 <<https://www.portspb.ru/>>.

12. Maiorov, Nikolai N., Vladimir A. Fetisov, and Angelina A. Dobrovolskaia. "Stochastic model for forecasting of cruise or ferry ship arrival at seaport for infrastructure assessment." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 14.2 (2022): 169–180. DOI: 10.21821/2309-5180-2022-14-2-169-180.
13. Maiorov, Nikolai N. "Research of functioning of maritime passenger terminals with application of mind maps." *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and technologies* 1 (2019): 119–126. DOI: 10.24143/2073-1574-2019-1-119-126.
14. Voevodskii, E. N., and M. Ya. Postan. *Stokhasticheskie modeli v proektirovanii i upravlenii deyatel'nost'yu portov*. M.: Transport, 1987.
15. AnyLogic. Web. 15 Feb. 2023 <<https://www.anylogic.ru>>.
16. Krile, Srećko, and Nikolai Maiorov. "The influence of external environment to the ferry lines and marine passenger terminals." *Transport Problems* 15 (2020): 203–214. DOI: 10.21307/TP-2020-060.
17. Liu, Yanhong, Erwei Dong, Shiqi Li, and Xiaowen Jie. "Cruise tourism for sustainability: An exploration of value chain in Shenzhen Shekou Port." *Sustainability* 12.7 (2020): 3054. DOI: 10.3390/su12073054.
18. Maiorov, Nikolai Nikolaevich, Angelina Alexandrovna Dobrovolskaia, and Vitaly Evgenievich Taratun. "Research of ways to develop accurate digital models for objects and nodes of transport infrastructure." *Sistemnyi analiz i logistika* 4(30) (2021): 114–121. DOI: 10.31799/2077-5687-2021-4-114-121.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Добровольская Ангелина Александровна —
ассистент
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский
государственный университет аэрокосмического
приборостроения»
190000, Российская Федерация, Санкт-Петербург,
ул. Большая Морская, 67, лит. А
e-mail: angd999@gmail.com

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Dobrovolskaia, Angelina A. —
Assistant
Saint-Petersburg State University
of Aerospace Instrumentation
67/A Bol'shaya Morskaya Str.,
St. Petersburg, 190000,
Russian Federation
e-mail: angd999@gmail.com

Статья поступила в редакцию 20 апреля 2023 г.
Received: April 20, 2023.